This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

C 428,312

THE UNIVERSITY OF MICHIGAN · LIBRARIES ·

revue de métallurgie

Fondée en 1904 par Henry Le Chatelier

Présidents honoraires : Eugène Dupuy, Georges Delbart

Président-Directeur Général : René Castro

REDACTION ET ADMINISTRATION : 47, rue Boissière, Paris-16e - Tél. : 553-81-30

Régisseur de la Publicité : REGIE PUBLICITE INDUSTRIELLE

36, rue du Fer-à-Moulin, Paris-5e — Téléphone 707-53-39

ANNÉE **JUILLET-AOUT 1972** **N° 7/8**

formations économiques

Sidérurgie : les charges d'investissements atteindront 25 milliards au cours du VIe Plan .. .. .. 173 - E

Le projet de Sagonte (Espagne) .. .. 184 - E

Le chiffre d'affaires de la sidérurgie italienne pour les produits C.E.C.A. .. .. 185 - E

Le groupe suédois Gränges en 1971 .. .. 186 - E

Les usines sidérurgiques du Texas .. .. 189 - E

Production et expéditions de minerai de fer de Hamersley (Australie) en 1971 .. .. 190 - E

Construction d'une usine d'aciers spéciaux à Rengo (Chili) .. .. 191 - E

Projets de développement minier du Venezuela .. .. 192 - E

émoires

thèse des travaux du colloque sur l'électrothermie dans l'affinage des métaux (Versailles, mars 1971) 443

Après un exposé d'introduction sur l'évolution des procédés industriels d'élaboration, le colloque comportait deux grands thèmes : 1) procédés de dégazage sous vide de l'acier liquide, 2) procédés spéciaux de fusion et d'affinage des aciers et métaux réfractaires.

Rocquet : **Application des études par similitude à la recherche en sidérurgie** 459

Exemples d'études effectuées au laboratoire de recherche de la SOLLAC : étude du transfert de masse lors de l'élaboration de l'acier dans un four Kaldo ; étude, à l'aide d'un modèle froid, de l'effervescence lors de la solidification de l'acier ; étude de l'absorption d'oxygène entre poche et lingotière.

Petit, R. Trentin, P. Verjux : **Mise au point d'une méthode de mesure de la vitesse des produits en cours de laminage** 475

Mise au point par l'IRSID d'une méthode de mesure par corrélation : on vise le produit à l'aide de deux cellules photoélectriques décalées dans le sens du défilement et par calcul de la fonction d'intercorrélation des signaux reçus, on obtient l'affichage en continu de la vitesse de laminage.

Bernard, M. Prud'homme : **Compléments à l'étude des phénomènes thermiques dans les joints soudés** 483

Cycles thermiques des zones affectées par la chaleur ; étude fonctionnelle, application au calcul du critère de refroidissement entre 700 et 300°C. Application des équations de Rosenthal à la détermination de la morphologie du métal fondu. Conséquences pratiques.

Tricot, M. Lacoude, B. Champin : **Etude analytique des processus gouvernant le comportement en service des engrenages** 497

Résultats d'essais permettant de préciser l'effet du mode d'élaboration, du traitement thermique, de l'usinage et des traitements de surface sur la résistance aux surcharges, l'aptitude au rodage, la résistance à la fatigue en pied de denture et la résistance à la fatigue superficielle (écaillage).

nmaire des Mémoires Scientifiques 474

B, Congrès, Manifestations, Bibliographie 517

Síntesis de los trabajos del coloquio sobre electrotermia en el afinado de los metales (Versalles, marzo 1971) 4

Después de un informe de introducción sobre la evolución de los procedimientos industriales de elaboración, el coloquio trató de dos grandes temas : 1) proceso de desgasificado bajo vacío del acero líquido, 2) procedimientos especiales de fusión y afinado de los aceros y metales refractarios.

P. Rocquet : **Aplicación de los estudios por similitud a la investigación siderúrgica** 4

Ejemplos de los estudios efectuados en el laboratorio de investigación de la SOLLAC : estudio de la transferencia de masa apartir de la elaboración del acero en un horno Kaldo ; estudio con ayuda de un modelo frío, de la efervescencia durante la solidificación del acero ; estudio de la absorción del óxigeno entre cuchara y lingotera.

P. Petit, R. Trentin, P. Verjux : **Puesta a punto de un método de medida de la velocidad de los productos en el curso del laminado** 47

Puesta a punto por el IRSID de un método de medida por correlación : se ve el producto con ayuda de dos células fotoeléctricas desplazadas en el sentido de la marcha y por cálculo de la función de intercorrelación de las señales recibidas, se obtiene el registro en continuo de la velocidad del laminado.

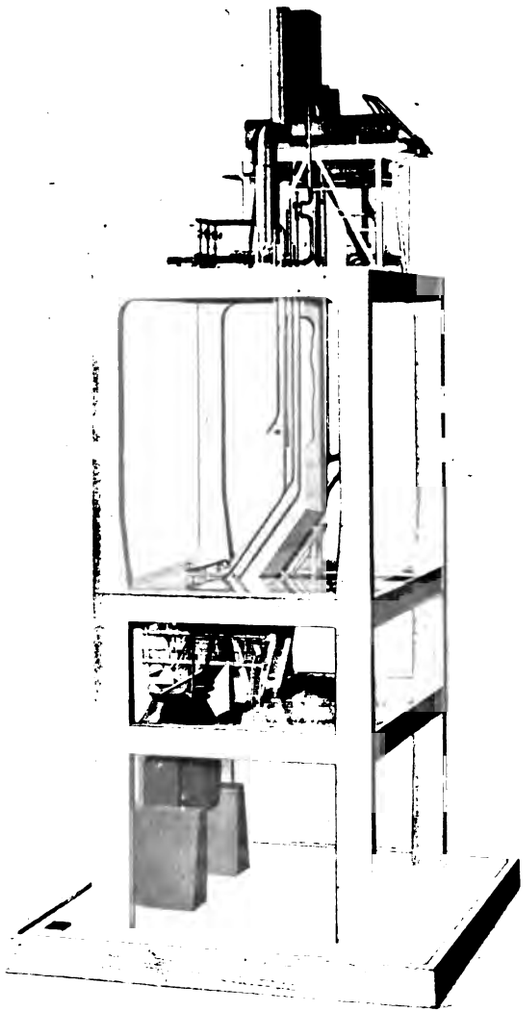
G. Bernard, M. Prudhomme : **Complementos al estudio de los fenómenos térmicos en las juntas soldadas** 4

Ciclos térmicos de las zonas afectadas por el calor ; estudio funcional, aplicacion en el cálculo del criterio de enfriamiento entre 700 y 300°C. Aplicación de las ecuaciones de Rosenthal en la determinación de la morfología del metal fundido. Consecuencias prácticas.

R. Tricot, M. Lacoude, B. Champin : **Estudio analítico de los procesos que gobiernan el comportamiento en servicio de los engranajes** 4

Tarif des abonnements 1972

Abonnement à la « Revue de Métallurgie » :	France, Union Française	195 F	Etranger 24
	le numéro	19 F	le numéro 2
Abonnement aux « Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie » :	France, Union Française	195 F	Etranger 24
	le numéro	19 F	le numéro 2
Tarif couplé pour l'abonnement aux deux publications	France, Union Française	365 F	Etranger 42



Babcock-Atlantique au Cbili :

A Huachipato, au Chili, la Compañia de Acero del Pacifico (Engineering Sofresid) a entrepris la construction d'une aciérie à l'oxygène qui comprend deux convertisseurs LD de 110 t.

Un troisième convertisseur est prévu dans une phase ultérieure.

L'installation de captation des fumées comprenant des cheminées sous pression à vapeur perdue a été confiée à Babcock-Atlantique.

Deux particularités caractérisent l'installation : l'adoption de hottes mobiles pour l'accès aux convertisseurs et la construction en tubes ronds membranés permettant de supprimer le casing.

Les cheminées tubulaires fixes fonctionnent en circulation naturelle, alors que la circulation dans les hottes mobiles est assistée par des pompes. Commun à la cheminée et à la hotte, le réservoir assure la séparation eau-vapeur. La vapeur produite est ensuite mise à l'air libre par l'intermédiaire d'un silencieux.

Les risques de séismes ont nécessité une étude très poussée des matériels. C'est ainsi, notamment, que le chariot support de la hotte mobile est un véritable pont roulant capable de résister à des efforts sismiques importants.

De plus, chaque unité comporte un appareil permettant l'inspection et l'entretien de la cheminée.

Babcock-Atlantique a conçu et réalisé l'installation complète de refroidissement. Celle-ci présente les principales caractéristiques suivantes :

- timbre : 26 bar
- pression de fonctionnement : 23 bar
- vaporisation unitaire en pointe : 143 t/h.

La sidérurgie progresse
BABCOCK-ATLANTIQUE
est présente.

Babcock-Atlantique étudie et construit des installations complètes pour la captation, le refroidissement et le dépoussiérage des gaz de convertisseurs soufflés à l'oxygène.

Les cheminées de captation, en tubes carrés jointifs ou en tubes membranés, constituent l'élément principal des différents systèmes de refroidissement proposés par Babcock-Atlantique :

- refroidissement par circulation d'eau, avec ou sans pression
- refroidissement par vaporisation, avec ou sans récupération d'énergie.

Outre l'équipement de la SMN Mondeville, qui constitue une première dans la sidérurgie française, Babcock-Atlantique compte parmi ses réalisations les plus récentes, des installations pour SOFRESID : SNS - El Hadjar, CAP-Chili et avec FLC : COSIPA-Brésil.

BABCOCK-ATLANTIQUE

Groupe BABCOCK FIVES

48, rue La Boétie, 75 - PARIS 8e
Tél. 256.68.00 Télex 29.027

turin, 23 septembre - 2 octobre 1972

MET 72

3ème exposition européenne de la métallurgie

dans le cadre du 22ème salon international de la technique

produits sidérurgiques et frittés ferreux - métaux non ferreux, leurs alliages, produits frittés et céramiques - installations, moyens de travail et matières brutes, fours et revêtements, installations pour le conditionnement des semi-produits, pour les travaux à chaud et à froid, pour le traitement des surfaces, etc. - fonderie : produits et machines - instruments et appareils pour recherches, contrôles, essais (énergie nucléaire et radio-isotopes) - expositions monographiques: organismes nationaux et internationaux, instituts d'études, associations techniques et scientifiques, presse technique - divers.

CONGRÈS, CONFÉRENCES, MEETINGS, JOURNÉES D'ÉTUDES DÉDIÉES AUX ASPECTS SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES, PRODUCTIFS ET ÉCONOMIQUES ; JOURNÉES DÉDIÉES AUX MAISONS EXPOSANTES

Renseignements : Corso Massimo d'Azeglio, 15 - 10126 TORINO (Italie) - Tél. : 65.69
Télégr. : TOEXPO Télex : 21492 TOEXPO

Un recueil de statistiques concernant la production des Minerais

★

Une documentation sur l'utilisation des matériels des Mines et Carrières

★

MEMENTO DES MINES ET CARRIÈRES

EDITION 1972
- 470 pages -

Prix de Souscription : 48 F (T.T.C.)

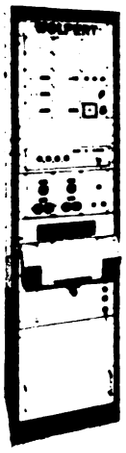
R.P.I. 36, rue du Fer à Moulin - 75005 PARIS

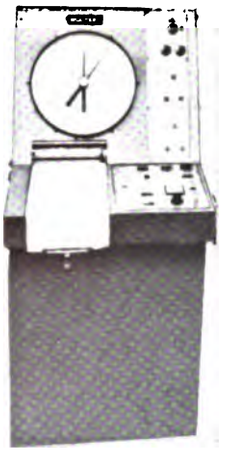
LA DOLOMIE FRANÇAISE

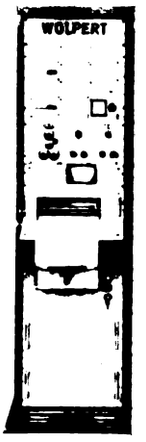
Briques de Dolomie

Convertisseurs - Voûtes de fours électriques
Chenaux et poches de coulée

LA DOLOMIE FRANÇAISE
Direction des Ventes
39, rue Erlanger — 75 - PARIS-16e
Téléphone : **525-00-93** - Télex : 62921

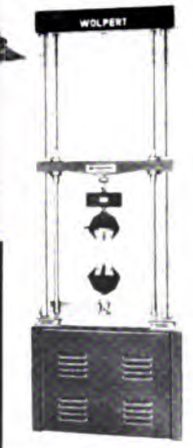




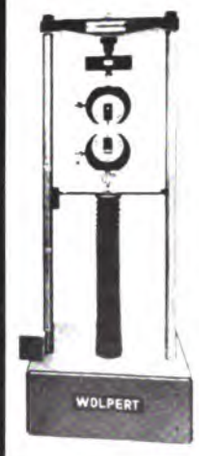


Spécialiste des essais...

TESTWELL Vous offre



un cadre d'essais.



ses solutions à vos problèmes.

Consultez-nous ! Nos ingénieurs sont à votre disposition pour vous renseigner et vous faire visiter nos salles d'exposition.

TESTWELL 36 bis, rue de la Tour-d'Auvergne - 75 Paris-9e - 878.81.40+

DUROMETRE HPO 250

Pour la détermination de la dureté Vickers et Brinell de l'acier et de métaux de toutes sortes.
Comprenant 15 gammes d'efforts :
- Pour Brinell 15,62 - 31,25 - 62,5 - 187,5 - 250 kg
- Pour Vickers 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 100 et 250 kg

Caractéristiques

1 - Sélection des charges par bouton-poussoir
2 - Empreinte projetée sur verre dépoli
3 - Mesure des empreintes par vis micrométrique (précision 0,001)
4 - Grossissements de 35 - 70 et 140.

WPM - SCHOPPER LEIPZIG - République Démocratique Allemande

Exportateur :
intermed-export-import
Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik
102 BERLIN, Schicklerstrasse 5/7 POB 17 - R.D.A.

Agent Général en France :
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE PHYSIQUE
48, Boulevard de la Bastille - PARIS 12e
Tél. : 344.12.34

O.P.F. UNIVAS

AUBERT ET DUVAL

41, RUE DE VILLIERS - NEUILLY-SUR-SEINE
TÉLÉPHONE : 624 88-30 - R. C. SEINE 56 B 1399
ADR. TÉL. : FALATAS-PARIS - TELEX 62.072

ACIÉRIE DES ANCIZES
(PUY-DE-DOME)

ACIERS SPÉCIAUX

WENDEL-SIDELOR
SACILOR
SOLLAC
SOLMER

Production 1971 : 8.100.000 tonnes d'acier.
Chiffre d'affaires hors taxes
5,9 milliards de francs. Chiffre d'affaires à l'exportation,
2,1 milliards de francs.
Principaux produits :
• Plaques et tôles à chaud • Larges-Plats
• Tôles à froid • Tôles revêtues
• Fer blanc
• Ronds bétons et laminés marchands
• Fil machine
• Rails • Poutrelles • Palplanches
• Produits grenaillés et pré-peints

GROUPE WENDEL-SIDELOR
1 rue Paul Baudry Paris 8e Tél. 359 97-31

Ets Sprunck & Cie

S.A. au Capital de 1.000.000 de F

57 - MOYEUVRE-GRANDE
FRANCE

Tél. : 71-53-19 (5 lignes groupées)
Télex : 86.175

- GRANULATION DES LAITIERS DE HAUTS FOURNEAUX AVEC FONDS FILTRANTS
- REGULATION ET AUTOMATION-INJECTION DE FUEL-OIL AUX HAUTS FOURNEAUX ET FOURS MARTIN
- PROCEDE L. W. S. (BREVET CREUSOT-LOIRE / SPRUNCK) POUR AFFINAGE DE L'ACIER PAR SOUFFLAGE D'OXYGENE ET DE FUEL-OIL DANS LES CONVERTISSEURS
- INSTALLATIONS DE BROSSAGE ET MELASSAGE AUTOMATIQUES DE LINGOTIERES D'ACIERIE
- SONDES DE PRISE DE TEMPERATURE AUX HAUTS FOURNEAUX (PROCEDE IRSID)
- CHAUDRONNERIE ET TUYAUTERIE INDUSTRIELLES
- ETUDES ET REALISATIONS PRATIQUES
- SOUDURES PAR TOUS PROCEDES
- CINTRAGE ET TUBES TOUS DIAMETRES
- RESERVOIRS TOUTE NATURE
- COMPENSATEURS ET LYRES DE DILATATION

PECHINEY-UGINE-KUHLMAN

ÉTUDES ET CONSTRUCTION D'USINES

Traitement de minerais d'uranium
Produits uranifères

PROCÉDÉS

Traitement des produits uranifères :
Minerais, Fluorures, Oxydes, etc.
Procédés spéciaux physiques et chimiques
Retraitement des combustibles nucléaires
Traitement des effluents et décontamination

RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Etudes et participation aux constructions

APPAREILS DE MESURE ET DE LABORATOIRE

Instrumentation diverse pour emplois nucléaires
Fours de traitement thermique

MATÉRIAUX ET PRODUITS POUR L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

• Métaux non ferreux et alliages :
Zirconium et alliages pour emplois nucléaires
hafnium, niobium, vanadium, aluminium, titane
magnésium, sodium nucléaire.

• Aciers et alliages ferreux :
Aciers inoxydables et réfractaires
Aciers résistant mécaniquement à chaud
Aciers à spécifications nucléaires particulières.

• Produits à technique spéciale de mise en forme
Profils et tubes filés
Métaux frittés compacts ou poreux
Aimants permanents.

• Produits chimiques et divers
Fluor et produits fluorés minéraux et organiques
Graphite nucléaire.

• Composés uranifères
Concentrés
Produits de pureté nucléaire
Oxydes et sels d'uranium
Isotopes du bore.

SIEGE SOCIAL :
10, rue du Général-Foy - Paris 8e
Tél. : 292-31-00

Division des recherches et développements nucléaires
192, Grande-rue, 92 - Sèvres
Tél. : 626-14-00

USINE DE DUNKERQUE

usinor

Siège social et direction générale: 14, rue d'Athènes PARIS 9 ème

informations économiques

France

Sidérurgie : les charges d'investissements atteindront 25 milliards au cours du VIe Plan

A l'occasion de la présentation à la Presse, le 6 juillet, des rapports de la Chambre Syndicale de la Sidérurgie Française et du Groupement de l'Industrie Sidérurgique, M. Jacques Ferry a fait le point de la situation de l'industrie sidérurgique française et de ses perspectives d'avenir.

On trouvera ci-dessous le texte de la déclaration de M. Ferry :

« La Sidérurgie française a connu en 1971 les mêmes difficultés que tous les producteurs d'acier du monde libre. Les rapports qui vous sont présentés aujourd'hui rendent compte de ces difficultés, dont l'incidence s'est lourdement fait sentir sur les résultats financiers des entreprises. Il n'en est résulté cependant aucun ralentissement des investissements de notre industrie. Bien au contraire, ceux-ci se sont élevés au niveau encore jamais atteint de 3,3 milliards, dans lesquels les sommes dépensées à Dunkerque, par USINOR, et à Fos, par SOLMER, ont représenté respectivement 1,33 milliard et 275 millions. A ce niveau, et plus encore à celui qu'elle doit normalement atteindre en 1972 et 1973, la Sidérurgie française se place en tête des producteurs européens pour l'effort d'investissement réalisé comparativement à la capacité de production existante.

« Cette situation n'est pas fortuite. Après l'heureuse conclusion du Plan Professionnel, elle traduit la volonté d'installer définitivement notre Sidérurgie sur des positions qui correspondent aux exigences de la compétition moderne dans ce type d'industrie. D'où la nécessité de penser en termes de programmes à long terme et en fonction d'un marché où le jeu de la concurrence efface de plus en plus les préférences ou les protections traditionnelles. A l'heure actuelle, notre pays importe de l'étranger environ 30 % de l'acier qu'il consomme, il en exporte à peine un peu plus, alors que, depuis le début du siècle, la balance des échanges de produits sidérurgiques de la France avec l'extérieur avait toujours été très

fortement créditrice. C'est, à l'intérieur du Marché commun, la conséquence d'une certaine redistribution des courants d'échange au profit surtout de nos voisins du Bénélux. C'est le fait également de l'intervention massive du Japon sur les marchés mondiaux, sans parler d'autres producteurs d'importance moindre mais dont la croissance anticipe bien souvent sur celle de leur marché intérieur.

« Face aux problèmes que posent à la fois cet élargissement et ce renforcement de la concurrence, la Sidérurgie française dispose d'atouts incontestables. Le taux de développement de son marché intérieur, lié à celui de la production intérieure brute est actuellement le plus élevé de tous les pays du Marché commun, Angleterre comprise. La réputation de ses ingénieurs et de ses laboratoires, dans le domaine des aciers fins et spéciaux, comme dans celui des aciers ordinaires, est affirmée dans le monde entier. Elle dispose, en outre, d'avantages naturels enviables. Le minerai lorrain, exploité rationnellement, c'est-à-dire dans des conditions préservant le gisement d'un épuisement prématuré, constitue pour longtemps la base solide d'une sidérurgie lorraine profondément remodelée et modernisée. Dunkerque et Fos, plus tard sans doute Le Havre, sont remarquablement placées pour constituer les pôles autour desquels se développera la puissance d'expansion de notre industrie, et grâce auxquels se renforcera la capacité de renouvellement des bassins traditionnels.

« Ces orientations ne sont pas nouvelles. Elles prolongent très normalement celles qui avaient été définies dans le cadre du Plan Professionnel ; elles ont été confirmées et précisées lors de l'élaboration du VIe Plan. Elles impliquent, pour être suivies sans défaillance, la réalisation d'un certain nombre de conditions :

« Tout d'abord, l'existence de moyens financiers quantitativement et qualitativement adaptés aux objectifs recherchés. Le total des charges d'investissements sidérurgiques prévues au titre du VIe Plan s'élève à 25 milliards. Mais, à moins de créer pour l'avenir des charges financières intolérables, la part des emprunts dans la couverture de cette dépense globale ne semble guère devoir dépasser la moitié. Il faut donc que les ressources propres des entreprises — celles qu'elles dégagent de leurs résultats et celles qu'elles sont susceptibles de trouver auprès des actionnaires anciens et nouveaux — assurent le complément. C'est une ambition qui, globalement, semblait assez facilement réalisable au vu des résultats de 1970 et qui peut l'être encore, en dépit de la détérioration constatée l'année dernière et au début de cette année, pour peu que se confirment l'amélioration conjoncturelle amorcée il y a quelques mois ainsi que la meilleure tenue du marché des valeurs mobilières à revenu variable.

« La deuxième condition touche à l'esprit même dans lequel le programme doit être exécuté. L'intérêt commun est qu'il s'accomplisse harmonieusement et d'un même rythme dans toutes ses parties. Les impératifs de productivité, de défense rationnelle de notre marché intérieur, les exigences de politiques régionale, sociale ou financière imposent plus que jamais l'unité des vues et la cohérence des méthodes. Mais non la confusion des responsabilités. Certaines formes de coopération ponctuelle entre des entreprises sont souhaitables. Ce peut être le cas, notamment, quand la technologie, voire des impératifs de rentabilité, imposent à un projet des dimensions qui excèdent les possibilités d'un seul Groupe. Mais une telle coopération n'a de sens que si elle satisfait aux intérêts fondamentaux de chacun des participants en même temps qu'elle préserve leur personnalité. Les cheminements de cette coopération ne sont pas nécessairement désignés *a priori* sur la carte ou dans les bilans des sociétés. Leur choix reste fonction de deux préoccupations qui sont, d'une part, de promouvoir, à l'intérieur de l'espace national, le développement le plus productif pour la collectivité — du point de vue, notamment, de la balance commerciale et des créations d'emploi —, et, d'autre part, de sauvegarder les principes et les structures d'une concurrence saine entre les producteurs. Car une telle concurrence, convenablement encadrée, et si possible à l'échelle européenne, par une politique professionnelle des investissements, apparait plus que jamais indispensable à une industrie ocmme celle de l'Acier, qui est désormais ouverte à tous les vents et à tous les mouvements de la compétition internationale.

« La dernière condition pour que la Sidérurgie française atteigne ses objectifs au terme du VIe Plan c'est, bien entendu, que la croissance de notre économie soit elle-même conforme à l'allure prévue. Le marché intérieur de l'Acier dépend, en effet, très étroitement de la conjoncture économique générale dont il amplifie même souvent les fluctuations. De ce point de vue, la situation est encore incertaine. On peut, cependant, noter avec satisfaction depuis quelques mois, après une longue période de déstockage chez les utilisateurs, un raffermissement très net de la demande d'acier. De fait, les commandes enregistrées par les usines françaises sur le marché intérieur durant le premier semestre de l'année en cours sont en augmentation de 9,8 % sur celles des six premiers mois de l'année dernière. Ce mouvement s'accompagne d'une lente remontée des prix. La production, sur les mêmes périodes de comparaison, est en augmentation de 5,6 %.

« Mais si la reprise est incontestable, elle est encore fragile. Trop de facteurs sont incertains — dans le domaine monétaire ou budgétaire, comme dans celui de la politique salariale — pour que l'on puisse prédire à coup sûr pour la fin de cette année et surtout pour 1973 un relèvement important du taux de croissance de notre économie. Deux certitudes au moins sont acquises :

— celle d'une amélioration conjoncturelle du marché de l'acier qui devrait produire ses premiers effets bénéfiques sur les résultats de nos Sociétés avant la fin de l'exercice en cours,

— celle que le développement industriel de notre Pays passe par une politique de soutien actif et continu de ses investissements et que la Sidérurgie est directement concernée par une telle politique.

« Pour un chef d'entreprise conscient de ses responsabilités, il est nécessaire d'espérer et même de croire pour entreprendre .Nous avons entrepris et nous persévèrerons. »

Nouvelles brèves

LA PRODUCTION

Production sidérurgique française au mois de juin 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Juin 1972	6 mois 1972	Juin 1971 (*)	6 mois 1971	Variation 6 mois 1972 / 6 mois 1971
Fonte brute	1 636	9 829	1 396	9 413	+ 4,4 %
Acier brut	2 066	12 411	1 784	11 754	+ 5,6 %

(*) La production du mois de juin 1971 avait, comme le mois de mai de la même année, été affectée par des mouvements sociaux.

Production d'acier des pays membres de l'Institut International de l'Acier (I.I.S.I.).

(en 1 000 tonnes)

Pays	Mai 1972	Mai 1971
France	2 171	1 801
Belgique	1 225	1 119
Allemagne	3 547	3 348
Italie	1 740	1 492
Luxembourg	453	413
Pays-Bas	495	413
Total CECA	9 631	8 586
Autriche	323	318
Danemark	40 (*)	24
Finlande	128	106
Norvège	69	64
Espagne	780	706
Suède	467	505
Grande-Bretagne	2 264	2 207
Canada	1 034	993
Etats-Unis	10 823	11 721
Argentine	170	168
Brésil	563	503
Chili	48	38
Mexique	401	311
Venezuela	94	79
Australie	543	504
Inde	580	540
Japon	7 879	7 330
Afrique du Sud	457	413
Total	36 294	35 116

(*) Estimation.

Situation de l'industrie française du fer-blanc.

Les livraisons de fer-blanc se sont élevées au cours de l'exercice 1971 à près de 860 000 t contre 790 000 t en 1970, enregistrant ainsi une une progression de 9 % ; cette croissance est d'autant plus notable que la production mondiale s'est maintenue en 1971 au niveau qu'elle avait atteint en 1970, soit 12,8 millions de tonnes, et que la conjoncture sidérurgique internationale était à ce point défavorable que la production a baissé et que certains secteurs ont connu une crise réelle.

Sur une période de 10 ans, la progression des livraisons françaises (+ 57 %) s'est avérée être supérieure à celle de l'ensemble du monde (+ 39 %) ; la France conserve en outre le 4e rang parmi les producteurs mondiaux, avec près de 7 % du total, soit des livraisons correspondant au tiers de celles de la C.E.C.A.

Les livraisons se sont réparties à raison de 48 % pour le marché intérieur et de 52 % pour l'exportation, soit des pourcentages identiques à ceux de l'année précédente.

Les livraisons des usines françaises sur le marché intérieur ayant effectivement augmenté de 8 %, la consommation apparente n'a donc pas tout à fait atteint les 500 000 t prévues, mais elle a néanmoins progressé de 6 % : le VIe Plan ayant prévu, de 1971 à 1975, une croissance annuelle moyenne de 5 %, la première année a pris en conséquence une avance sur l'objectif assigné et la consommation *per capita* est passée de 8,9 à 9,4 kg.

Les importations, à la suite d'incidents ayant affecté les livraisons de certains producteurs étrangers, ont chuté en fin d'année ; de ce fait, elles ont été inférieures de 6 % à celles de 1970, tombant de 82 000 t en 1970 à 78 000 t en 1971.

Avec 455 000 t à l'exportation, soit + 9 % par rapport à 1970, la France se maintient au deuxième rang des exportateurs mondiaux de fer-blanc, après le Japon, et devance le Royaume-Uni de plus de 100 000 t. 13 % des livraisons de fer-blanc ont été exportés vers les pays de la C.E.C.A., 6 % vers la zone franc et 33 % vers les pays tiers.

Activité de l'estampage et de la forge en 1971.

Le chiffre d'affaires des différentes activités du Syndicat national de l'estampage et de la forge a atteint 972 millions de francs en 1971, soit une progression de 7,3 %. Entre 1967 et 1971, ce chiffre d'affaires a plus que doublé, passant de 423 à 872 millions de francs, dont respectivement 299 à 612 millions de francs pour l'estampage et 97 à 208 millions de francs pour la forge.

Pendant le même temps, les effectifs sont passés de 8 800 à 10 300 personnes, les tonnages d'acier consommé de 192 000 à 289 000 t, les tonnages d'acier livré de 152 à 221 000 t.

Malgré une légère augmentation du chiffre d'affaires, l'estampage a connu en 1971 un ralentissement d'activité qui s'est traduit par une baisse de 4 % des tonnages livrés. La médiocrité de l'année s'est manifestée dans tous les secteurs clients, sauf pour le chemin de fer, le matériel de mines et les industries diverses.

Programme prévisionnel « acier » pour l'année 1972.

Le Comité consultatif de la C.E.C.A. a examiné, lors de sa réunion du 9 juin à Luxembourg, un programme prévisionnel « acier » révisé pour l'année 1972 qui tient compte de la légère amélioration du climat conjoncturel et retient, pour la production communautaire d'acier brut, le chiffre correspondant à la limite supérieure de la fourchette dans le précédent programme, soit 108,50 millions de t contre une production effective de 103,35 millions de t en 1971 et contre 109,19 millions de t en 1970.

En ce qui concerne la consommation réelle d'acier, on s'attend pour l'ensemble de la Communauté à une légère augmentation, qui ne devrait cependant pas dépasser de 1 % celle de l'année dernière. La consommation pourrait se situer en valeur absolue à 94,70 millions de t, en équivalent d'acier brut. La consommation de l'Allemagne fédérale et de l'Union belgo-luxembourgeoise serait encore en régression, mais seulement de respectivement 2,5 et 1 %, tandis que dans les autres pays de la Communauté, on devrait enregistrer une augmentation (2,5 % aux Pays-Bas, 3,5 % en Italie, 4 % en France).

Les stocks de produits sidérurgiques devraient se normaliser dans tous les pays de la Communauté, sauf en France. Dans ce pays, on peut s'attendre à une diminution ultérieure des stocks des utilisateurs qui porterait sur 250 000 t. En Allemagne également, les stocks pourraient légèrement diminuer (environ de 100 000 t).

Les importations en provenance des pays tiers sont toujours évaluées à 5,65 millions de t en équivalent d'acier brut, mais par rapport aux estimations précédentes, on a prévu un niveau légèrement plus élevé pour l'Allemagne (3 millions de t) où les modifications intervenues dans les parités monétaires favorisent les concurrents étrangers. En Italie, par contre, les estimations d'importations sont maintenant à un niveau plus bas (1,2 million de t), étant donné que les réceptions de demi-produits en provenance des pays de l'Est et du Japon tendent à se ralentir au cours des premiers mois de cette année.

Quant aux exportations vers les pays tiers, on enregistre des possibilités positives, ce qui a permis de maintenir la limite supérieure des prévisions précédentes, c'est-à-dire 20 millions de t pour l'ensemble de la Communauté.

Dans ces conditions, le bilan d'acier brut prévisionnel de la Communauté pour l'année 1972 se présenterait maintenant comme suit, en comparaison avec les bilans effectifs des années précédentes :

(en millions de tonnes)

	1969	1970	1971	1972
Utilisation :				
Consommation réelle	89,61	94,83	94,10	94,70
Variation des stocks :				
des utilisateurs	+ 5,32	+ 2,25	— 4,80	— 0,35
des négociants et usines	+ 0,27	+ 3,14		
Exportations	18,53	17,71	20,80	20,00
Utilisation totale	113,73	117,93	110,10	114,45
Ressources				
Production d'acier brut	107,32	109,19	103,35	108,50
Matériaux de réemploi pour laminoirs	0,21	0,22	0,20	0,20
Importations	6,40	8,52	6,55	5,65
Total	113,93	117,93	110,10	114,35

L'accroissement prévu de la production d'acier brut demeurera inférieur à celui des possibilités réelles qui sera d'environ 7 millions de t en 1972 par rapport à 1971. Ceci signifie qu'en 1972, comme l'année passée, le taux d'utilisation des possibilités de production diminuera dans la Communauté, bien que dans une faible proportion.

LES APPROVISIONNEMENTS

Production de minerai de fer au mois de mai 1971.

(en 1 000 tonnes)

	Mai 1972	5 mois 1972	Mai 1971	5 mois 1971	Variation 5 mois 1972 / 5 mois 1971
Minerai de fer marchand	4 717	24 338	4 361	24 720	— 1,5 %

Activité des mines de fer françaises en 1971.

Dans le compte rendu du rapport présenté lors de l'assemblée générale de la Chambre Syndicale des Mines de Fer de France qui s'est tenue le 17 mai, le bilan des mines de fer françaises s'établit de la façon suivante.

Au cours de l'année 1971, la production française de minerai de fer s'est élevée à 55 861 712 t, ce qui représente une diminution de 1,66 % par rapport à l'année précédente.

Parallèlement, les livraisons représentant 54 516 216 t ont été en baisse de 3.7 %.

Les mines de l'Est ont un peu moins ressenti les effets de la dégradation de la conjoncture : la production s'élevant à 53 576 830 t (95,91 % de la production nationale) a baissé de 1,4 % et les livraisons s'élevant à 52 356 984 t ont diminué de 3,1 %.

Dans l'ensemble, la diminution de ces livraisons en France représentant 34 100 796 t a été de 4 % par rapport à 1970. De même, les exportations s'élevant à 18 256 188 t ont baissé de 1,3 %. Avec une production inférieure de 18 %, la Sarre n'a importé que 4 034 230 t de minerai de fer, soit 17,5 % de moins qu'en 1970. Les livraisons pour la Belgique ont diminué de 8,1 %, alors que la production de fonte n'a régressé que de 3,9 %. Seul, un accroissement de 12,6 % de nos exportations vers le Luxembourg qui a consommé la motié du minerai de fer lorrain exporté a été enregistré alors que sa production de fonte a été réduite de 4,6 %.

Les effectifs n'ont pas varié dans l'ensemble en 1971. En Lorraine où ils s'élevaient, au 31 décembre 1971, à 10 298, dont 154 ingénieurs, on a enregistré une diminution de 334 personnes alors que le nombre des départs naturels a été de 329 et celui des promotions dans la maitrise, de 22. Une centaine de licenciés ont été reclassés pour 82 % d'entre eux dans les mines de fer et 7 % dans la sidérurgie.

LES TRANSPORTS

Trafic sur la Moselle canalisée au mois de mai 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Mai 1972	5 mois 1972	Mai 1971	5 mois 1971	Variation 5 mois 1972 / 5 mois 1971
Exportations de France	362	1 432	351	1 453	— 1,5 %
Importations en France	324	1 464	339	1 924	— 23,8 %
Trafic total	686	2 896	690	3 377	— 14,2 %
Trafic effectué par la sidérurgie	77,8 %	76,5 %	80,9 %	84 %	— 21,9 %

LE MARCHE

Exportations sidérurgiques françaises au mois de mai 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Mai 1972	5 mois 1972	Mai 1971	5 mois 1971	Variation 5 mois 1972 / 5 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	19	111	23	121	— 8,3 %
	Aciers courants	251	1 336	241	1 177	+ 13,5 %
	Aciers spéciaux	23	89	13	64	+ 39 %
	Total	293	1 536	277	1 362	+ 12,8 %
Zone Franc	Fontes	—	—	—	—	—
	Aciers courants	41	201	32	161	+ 24,8 %
	Aciers spéciaux	—	1	1	3	— 66,7 %
	Total	41	202	33	164	+ 23,2 %
Pays tiers	Fontes	12	49	1	26	+ 88,5 %
	Aciers courants	311	1 447	287	1 513	— 4,4 %
	Aciers spéciaux	10	50	10	43	+ 13,6 %
	Total	333	1 546	298	1 582	— 2,3 %
Tous pays	Fontes	31	159	24	147	+ 8,2 %
	Aciers courants	603	2 985	560	2 851	+ 4,7 %
	Aciers spéciaux	34	140	24	110	+ 27,3 %
	Total	668	3 284	608	3 108	+ 5,7 %

Importations sidérurgiques françaises au mois de mai 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Mai 1972	5 mois 1972	Mai 1971	5 mois 1971	Variation 5 mois 1972 / 5 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	37	164	9	31	+ 429 %
	Aciers courants	566	2 582	393	2 005	+ 28,8 %
	Aciers spéciaux	29	135	22	126	+ 7,1 %
	Total	632	2 881	424	2 162	+ 33,3 %
Pays tiers	Fontes	2	19	2	14	+ 35,7 %
	Aciers courants	55	238	27	185	+ 28,6 %
	Aciers spéciaux	7	31	5	30	+ 3,3 %
	Total	64	288	34	229	+ 25,8 %
Tous pays	Fontes	39	183	11	45	+ 306,7 %
	Aciers courants	621	2 820	420	2 191	+ 28,7 %
	Aciers spéciaux	36	166	27	160	+ 3,7 %
	Total	696	3 169	458	2 396	+ 32,3 %

Création d'USINOR Italia.

Une filiale du groupe USINOR, USINOR Italia, a été récemment créée à Milan.

En 1971, les ventes d'USINOR sur le marché italien ont atteint 138 000 t, soit 100 millions de francs environ. Ainsi, avec le qart des exportations communautaires du groupe sidérurgique du Nord, l'Italie s'affirme comme un marché intéressant.

Les principaux clients (90 environ) d'USINOR Italia sont constitués par l'industrie automobile et l'électroménager. Les ventes portent donc principalement sur les produits plats, notamment les tôles à froid. Néanmoins, certains marchands de fer passent également des commandes. Comme pour les premiers clients, l'ensemble des ventes s'effectuent en affaires directes, c'est-à-dire que la livraison est acheminée directement de l'usine à l'acheteur.

Nouvel « Ugistore ».

Ugine-Aciers a ouvert un nouvel « Ugistore » à Grenoble-Saint-Martin-d'Hères.

LES STRUCTURES ET LES INVESTISSEMENTS

Creusot-Loire émet un emprunt.

La société Creusot-Loire a émis, le 30 juin, un emprunt obligataire de 150 millions de francs divisé en 150 000 obligations de 1 000 F nominal.

Augmentation de capital aux Aciéries de Champagnole.

Une assemblée générale extraordinaire, réunie le 16 juin 1972, a autorisé le conseil d'administration de la société des Aciéries de Champagnole à augmenter le capital social pour le porter au montant maximum de 15 000 000 de francs. Le président a précisé qu'il n'était pas dans les intentions du Conseil d'utiliser actuellement cette faculté pour émettre des actions à souscrire en numéraire.

Augmentation de capital à la Compagnie des Forges de Châtillon-Commentry-Biache.

Au cours de l'assemblée générale extraordinaire qui s'est tenue le 22 juin 1972, il a été rendu compte de l'augmentation du capital de 35 043 750 F réalisée en mars 1972, au moyen de l'incorporation de la réserve spéciale de réévaluation et élévation corrélative, de 60 à 75 F, du nominal des actions.

Une nouvelle autorisation, valable cinq ans, a été donné pour porter le capital social jusqu'à 300 000 000 de francs.

ES TECHNIQUES

INGENIERIE ET MATERIELS SIDERURGIQUES

Commandes de SOLMER à la Société Fives Lille-Cail.

Fives-Lille-Cail (Groupe Babcock Fives) a obtenu de la société Solmer une commande relative à la fourniture d'importants appareils de levage et se trouve ainsi être le fournisseur de la plupart des gros ponts-roulants de la future aciérie de Fos-sur-Mer :

— un pont-roulant pour chargement de la fonte, d'une force de levage de 370/100/20 t et d'une portée de 22 m ;

— un pont-roulant pour coulée de l'acier, d'une force de levage de 410/100/20 t et d'une portée de 22 m ;

— deux ponts strippers pour lingots de 35 t ;

— un pont-roulant pour manutention d'auget à ferrailles de 77 m^3, d'une force de levage de 110/80 t et d'une portée de 22 m ;

— un pont roulant pour manutention de poches de coulée, d'une force de levage de 150/40 t et de 22 m de portée.

Fives-Lille-Cail a d'autre part reçu de la société Solmer d'autres commandes importantes :

1) pour la manutention des matières premières :

— deux roues pelleteuses à minerai (débit : 1 600 t par heure) et une roule pelleteuse à charbon (débit : 800 t par heure) ; ces appareils, qui desserviront le parc primaire, auront une portée — encore jamais atteinte en France — de 51 m ;

— un important réseau de transporteurs à courroie pour le chargement des accumulateurs des hauts fourneaux ;

— en collaboration avec sa filiale Koch : deux appareils de mise au stock pour le parc à combustibles et de secours, ainsi que l'ensemble des transporteurs à courroies desservant la cokerie et assurant la manutention du charbon et du coke.

2) pour la préparation mécanique des matières premières :

— l'atelier de préparation de combustibles pour l'agglomération-concassage de coke, qui comporte notamment deux tubes broyeurs à barres et des cribles ;

— l'installation de préparation mécanique des minerais, principalement composée d'un concasseur giratoire primaire et de 4 concasseurs Dragon type « Rollercone ».

COOPERATION TECHNIQUE

Accord de coopération entre Creusot-Loire et deux sociétés mexicaines.

Un important accord de coopération vient d'être signé entre deux sociétés mexicaines d'une part, la Nacional Financiera et la société Altos Hornos et le Groupe Creusot-Loire d'autre part.

Aux termes de cet accord, les trois entreprises sont convenues d'instaurer une large copération entre elles dans les pôles d'intérêt qui leur sont communs. Cette action, qui passera par l'échange d'informations à caractère technologique, technique et de « savoir-faire », sera plus particulièrement centrée sur les domaines des aciers spéciaux et certaines activités de la mécanique lourde. Dans ce contexte, Creusot-Loire sera amené à prendre des participations dans des sociétés nouvelles à créer au Mexique, s'associant ainsi au développement de ce pays en la matière.

LES UTILISATIONS DES PRODUITS SIDERURGIQUES

Ponts en acier.

Le pont de Salsipuedes récemment construit en Equateur, ainsi que trois autres ouvrages d'art métalliques, par une importante entreprise française, permet à la nouvelle route reliant les villes de Cajabamba et de Chilcales de franchir le Rio Capata. Long de 186 m, ce pont comporte un arc unique d'une portée de 125 m et représente un poids total d'acier de 555 t. L'usinage des éléments constitutifs de l'ouvrage a été exécuté en France. Poutres et fournitures diverses ont été acheminées par fer jusqu'à Rouen et embarquées sur cargo à destination de Guyaquil.

Dans le cadre de la construction de l'autoroute A 31 Thionville-Nancy, un important pont en acier vient d'être achevé. Il s'agit du pont de Camifemo (pont sur le canal des Mines de Fer de la Moselle). Cet ouvrage se compose de deux ponts parallèles courbes, de chacun : 340 m de longueur en cinq travées de 52 à 76 m., et 14 m de largeur. Ces ponts à caisses ont nécessité la mise en œuvre de 2 000 t d'acier à haute résistance.

L'acier dans le bâtiment.

Le Centre International de Paris, à la Porte Maillot, nécessitera la mise en œuvre de 7 400 t d'aciers divers.

Les nouvelles tribunes du Champ de Courses de Maisons-Laffitte, destinées à remplacer les anciennes installations, insuffisantes et vétustes, et dont la construction s'achève, sont à ossature métallique avec couverture en tôle d'acier galvanisée nervurée. 1 200 t d'acier auront été utilisées pour la totalité de l'ossature.

Le bâtiment de 2 niveaux qui doit abriter les ensembles électroniques de la S.N.C.F., rue Cardinet, est une construction à noyau central en béton et ossature périphérique en acier. En ce qui concerne les aménagements intérieurs, on utilise la tôle d'acier prélaquée pour l'habillage des poteaux et la tôle d'acier plastifiée pour les cloisons.

« Absorbeurs » français pour la Sibérie.

La fabrication de 40 absorbeurs (sécheurs de gaz) destinée à cinq usines d'U.R.S.S. situées en zone arctique a nécessité en raison des conditions climatiques (jusqu'à — 56°C) et d'exploitation (+ 15 à + 245°C) l'emploi d'acier au carbone à haute limite élastique (Creuselso 42 AK).

Ces appareils, de 9 153 mm de hauteur, 2 700 m de diamètre, 62 mm d'épaisseur ont une masse unitaire de 31 200 kg.

Aimant analyseur pour le CERN à Genève.

L'atelier de constructions mécaniques de Creusot-Loire fabrique actuellement la masse magnétique d'un aimant analyseur de 895 t pour le Centre Européen de Recherches Nucléaires à Genève.

Viroles de réacteur pour la Suède.

590 t de tôles cintrées à froid ont servi à la fabrication des viroles d'une cuve de réacteur nucléaire destiné à la Suède. Ces viroles, d'un diamètre de 6,70 m et d'une largeur de 3,21 m, ont une épaisseur de 185 mm.

INFORMATIONS DIVERSES

Saint-Gobain-Pont-à-Mousson va devenir majoritaire dans la société Davum.

Saint-Gobain-Pont-à-Mousson va porter de 23 % à plus de 50 % sa participation dans Davum.

Le groupe Saint-Gobain-Pont-à-Mousson, à l'occasion de l'absorption de Spamco par la Sape, reprendra la part de Davum lui revenant, soit 14 %, et achètera à divers détenteurs privés environ 15 % du capital de Davum. Davum, avec ses 60 dépôts et agences, ses 6 000 agents, dont 500 cadres, constitue un

outil d'importance pour le Groupe. Davum est liée par un contrat de longue durée à Wendel-Sidelor mais la société a entrepris depuis quelques années un important effort de diversification tendant è confirmer sa position dans les fournitures à la construction. Le renforcement de ses liens avec le Groupe Saint-Gobain-Pont-à-Mousson devrait lui permettre d'élargir encore le champ de ses efforts. Davum-Exportation, par contre, qui n'a qu'une activité purement sidérurgique, ira rejoindre les organisations commerciales d'exportation de la sidérurgie lorraine.

Construction d'une conduite supplémentaire de l'oléoduc reliant l'Etang de Berre et Manosque

Le « Journal Officiel » du 6 juin publie un décret autorisant la construction et l'exploitation entre l'étang de Berre et Manosque d'une conduite supplémentaire de l'oléoduc reliant les installations portuaires et les usines de traitement de la région marseillaise au centre de stockage souterrain de Manosque.

La conduite, d'une longueur de 80 km, permettra de porter la capacité de l'oléoduc et le tonnage transporté à 15 millions de tonnes.

Le centre technique des industries de la Fonderie va développer les moyens de lutte contre la pollution.

Le ministère du Développement industriel et scientifique a signé une convention avec le Centre Technique des Industries de la Fonderie (C.T.I.F.) en vue de développer les moyens de lutte contre la pollution causée par les fours à cuve verticale de fonderie.

Le C.T.I.F. se propose de réaliser et de mettre au point, en collaboration avec une entreprise de fonderie, un modèle de dépoussiéreur statique pour les fumées de ces fours. La subvention d'aide attribuée au C.T.I.F. pour cette opération est de 100 000 F, prélevée sur les crédits d'aide au développement.

Etranger

Le projet de Sagonte (Espagne)

Le décret adjugeant à la société Altos Hornos del Mediterraneo la construction et l'exploitation de la 4e usine intégrée espagnole à Sagonte a été publié au Boletin Oficial du 10 mars 1972. Ce décret précise que :

— Altos Hornos del Mediterraneo devra porter son capital social à 6 milliards de pesetas dans le délai de 6 mois à partir de la date de l'adjudication ;

— la participation étrangère dans le capital social de A.H.M. ne pourra, à aucun moment, excéder 45 % et, à cet égard, les statuts actuels de A.H.M. ne pourront être modifiés sans l'autorisation préalable du Conseil des Ministres ;

— les 4 étapes prévues pour la construction de l'usine sont ramenées à 3, sur proposition de la société adjudicataire, celle-ci estimant que la production de tubes soudés de grand diamètre (initialement prévue en une 4e étape) pourra commencer dans le cadre de la 3e étape (1979-1981) ;

— étant donné l'importance économique et sociale du projet, Altos Hornos del Mediterraneo obtiendra un prêt exceptionnel pour chacune des 3 étapes prévues pour la construction de l'usine, y compris le port et les installations portuaires, ceci pour un montant équivalent à 35 % des immobilisations totales (*).

  Pour obtenir ces prêts, la condition indispensable sera que A.H.M. présente au Banco de Credito Industrial les projets de chaque étape dûment approuvés par la Direction Générale des Industries Sidéro-métallurgiques et navales ainsi que la preuve du total des investissements réellement effectués à la fin de chaque étape. Les prêts seront assortis d'une garantie réelle, de rang privilégié, constituée sur l'immobilisé tangible de A.H.M. ;

— L'Etat effectuera les travaux nécessaires pour assurer l'approvisionnement en eau de l'usine dans les délais et quantités prévus par A.H.M. Les fournitures d'eau s'effectueront en utilisant, dans la mesure du possible, les solutions déjà prévues pour l'approvisionnement de la région et le prix de l'eau sera fixé par le Ministère des Travaux Publics, compte tenu des investissements de caractère spécifique qui devront être réalisés pour couvrir les besoins de l'usine.

— conformément à l'offre qu'elle a elle-même formulée, la société Altos Hornos del Mediterraneo sera chargée de la construction et de l'exploitation du port et des installations portuaires nécessaires au développement des activités de l'usine. A cet effet, la société présentera au Ministère des Travaux Publics un projet de développement du port de Sagonte et le Ministère lui accordera les concessions nécessaires aux conditions que le Ministère fixera lui-même ;

— indépendamment des moyens de financement déjà prévus plus haut, la société adjudicataire pourra s'adresser au marché des capitaux pour un montant atteignant jusqu'à 35 % de l'investissement total effectué dans le port et les installations portuaires en bénéficiant des avantages fiscaux prévus par le décret-loi n° 12 de 1971.

(*) Selon le décret du 1er juillet 1971, les prêts du Banco de Credito Industrial seront consentis pour 15 ans, avec 5 ans sans amortissement, et ils porteront intérêt simple à 5,5 % par an.

Le chiffre d'affaires de la sidérurgie italienne pour les produits CECA

Dans son rapport annuel pour 1971, l'Assider donne l'évolution du chiffre d'affaires réalisé par ses entreprises adhérentes pour les produits relevant du Traité CECA, à savoir :

(en millions de lires)

Secteur	Année	Destination des livraisons			
		Marché italien	Autres pays C.E.C.A.	Pays tiers	Total
Hauts fourneaux et fours électriques (fonte, fonte au manganèse et ferro-manganèse carburé)	1969	18 152,0	—	—	18 152,0
	1970	27 144,9	—	320,1	27 465,0
	1971	20 344,0	—	—	20 344,0
Aciéries et laminoirs (demi-produits et produits finis)	1969	771 902,7	44 489,3	63 335,6	879 727,6
	1970	884 205,7	46 667,9	58 785,2	989 658,8
	1971	789 840,0	63 477,0	116 866,0	970 183,0
Total	1969	790 054,7	44 489,3	63 335,6	897 879,6
	1970	911 350,6	46 667,9	59 105,3	1 017 123,8
	1971	810 184,0	63 477,0	116 866,0	990 527,0

Le groupe suédois Gränges en 1971

Selon le rapport de Gränges pour 1971, les résultats de l'ensemble du groupe ont évolué comme suit :

(en milliers de dollars U.S.)

	1970	1971
Chiffre d'affaires à la clientèle	656 800	632 500
Résultat d'exploitation avant amortissement	82 000	54 500
Résultat d'exploitation après amortissement	44 200	14 600
Bénéfice net après impôt	24 900	12 100
Investissements	61 300	35 600

Le groupe Gränges comprend 5 divisions principales :

— Gränges Steel : secteur sidérurgique, exploitation du port d'Oxelösund, transports ferroviaires et mines de fer en Suède ;

— Gränges Essem : secteurs de l'aluminium, du cuivre, des matières plastiques, de la construction d'installations industrielles ;

— Gränges Shipping : transports maritimes ;

— Gränges International Mining : participation dans la Lamco/Libéria (minerai de fer), dans la Bethlehem Copper Corp. (Colombie britannique/Canada) ; prospection de gisements de nickel en Nouvelle Calédonie ;

— Gränges Conjoint Units : énergie électrique, industrie du verre, construction de réservoirs et d'équipements pour l'industrie pétro-chimique.

Gränges Steel.

Le chiffre d'affaires à la clientèle de la division Gränges Steel est tombé de $ 262,8 millions en 1970 à $ 252 millions en 1971, tandis que le résultat d'exploitation après amortissement tombait de $ 25,5 millions à $ 2,9 millions.

Les livraisons de produits sidérurgiques ont augmenté en tonnage, mais les prix ont été dans l'ensemble inférieurs à ceux de l'année précédente, surtout pour les aciers inoxydables.

Usine d'Oxelösund.

Grâce à des contrats de tôles navales conclus antérieurement, le prix moyen de livraison pour ce produit a été supérieur en 1971 à celui de 1970 mais cela n'a pas compensé entièrement la chute des prix pour les autres ventes de l'usine. Malgré un accroissement des livraisons totales de tôles fortes, qui ont atteint 633 000 t (+ 6 %), la valeur totale des livraisons est restée à peu près la même qu'en 1970. Pour 1972, compte tenu des contrats existants et des inscriptions de commandes nouvelles, l'usine d'Oxelösund espère une augmentation du prix moyen des tôles fortes de l'ordre de 10 %.

Les investissements de 1971 se sont élevés à $ 8 millions environ. Le four-poche ASEA/SKF de 140 t a été mis en service et permet désormais la production d'acier de plus haute qualité. L'usine d'Oxelösund a par ailleurs commencé à livrer des tôles à résistance élevée présentant néanmoins d'excellentes propriétés de soudabilité (tôles obtenues par un procédé de trempe à l'eau sous pression, suivie de revenu). Enfin, les 2 hauts fourneaux ont été équipés pour l'injection de fuel oil.

L'usine d'Oxelösund a renoncé, au début de 1972, à la production de tôles moyennes et fortes obtenues par découpage, de coils laminés dans d'autres usines. Elle se consacre maintenant exclusivement à la production de tôles fortes obtenues sur son propre train quarto.

Les investissements prévus pour 1972 s'élèvent à $ 9 millions environ. Ils porteront notamment sur une augmentation de la capacité de l'installation de coulée continue (qui sera portée de 375 000 à 475 000 t/an) et sur l'installation d'un système de désulfuration de la fonte (selon un procédé japonais).

Les investissements consacrés à la lutte contre la pollution devraient atteindre $ 2,5 millions. Il est prévu notamment 2 précipitateurs électro-statiques (qui réduiront d'environ 70 % les émissions de l'agglomération) et un système d'épuration des eaux usées).

Evolution de la production de l'usine d'Oxelösund

(en 1 000 tonnes)

	1970	1971
Eponges de fer (procédé Höganäs)	35	35
Fonte	893	851
Acier brut	842	854
Tôles fortes (*)	534	544

(*) Non compris les tôles découpées hors coils qui avaient représenté 26 000 t en 1970 (le chiffre pour 1971 n'est pas connu).

Nyby Bruk.

En dépit de l'excédent mondial de capacité pour les aciers inoxydables et de la concurrence internationale accrue (notamment de la part du Japon), la Nyby Bruk a pu augmenter ses livraisons d'environ 8 % en 1971, mais à des prix tout à fait insuffisants. Près de 70 % de la production ont été exportés, dont les 2/3 à destination de la C.E.E., de la Grande-Bretagne, du Danemark et de la Norvège.

La Nyby Bruk espère que les réductions de production intervenues en Europe et au Japon, ainsi que les engagements d'autolimitation pris par les Japonais pour leurs exportations vers l'Europe permettront de ramener les prix en 1972 à un niveau plus en rapport avec les coûts de production.

La Nyby Bruk va maintenant entamer un important propgramme de lutte contre la pollution et elle investira plus de $ 1,5 million pour le dépoussiérage de ses fours électriques.

Evolution des livraisons d'acier inoxydable de Nyby Bruk.

(en 1 000 tonnes)

	1970	1971
Produits plats	34	36
Tubes	7	8

La filiale de Nyby Bruk au Canada (Gränges Nyby Canada Ltd) a commencé à produire des tubes soudés d'acier inoxydable dans le courant de 1971 (selon le rapport de Gränges, pour 1970, la capacité de Nyby Canada Ltd, à Brockville/Ontario serait de 2 000 t/an de tubes soudés en acier inoxydable, les tôles devant être fournies par Nyby Bruk).

Gränges Hedlund.

En 1971, l'usine de Jordbro a produit 30 000 t de tubes pour gazoducs destinés à l'U.R.S.S. ; l'usine produit également des tubes pour conduites d'eau et canalisations de chauffage urbain.

La Gränges Hedlund a également des activités dans le secteur de la construction métallique et divers grands travaux ont été achevés au cours de 1971, notamment 2 ponts en Suède et des halles métalliques pour l'usine de Koverhar en Finlande. De nouvelles commandes ont été inscrites pour des réservoirs destinés à une raffinerie suédoise, pour les structures métalliques de bâtiments à Gothenburg et pour des aménagements au haut fourneau et à l'aciérie de l'usine sidérurgique de Luléa.

Mines de fer (en Suède).

La production des mines de Grängesberg et Strassa s'est maintenue au niveau de 1970 avec 3,67 millions de tonnes, dont 455 000 t de boulettes provenant de Strassa et 680 000 t de boulettes liées à froid provenant de Grängesberg.

Les livraisons ont évolué comme suit :

(en 1 000 tonnes)

	1970	1971
Usines du groupe Gränges	714	725
Autres usines suédoises	811	1 007
Exportations	1 980	1 445
dont : Belgique	859	578
Allemagne Occidentale	717	482
France	120	22
Tchécoslovaquie	209	185
Pologne	—	100
Autres pays	75	78
Total des livraisons	3 505	3 177

Gränges Shipping.

La division Gränges Shipping (transports maritimes) a réalisé un résultat d'exploitation après amortissement de $ 9,2 millions en 1971, soit une augmentation de près de 60 % sur 1970, mais un chiffre cependant inférieur aux prévisions faites au début de l'année.

Outre des navires affrêtés à temps (représentant un total d'environ 540 000 dwt), la division Gränges Shipping dispose d'une flotte propre de 733 000 dwt, se décomposant comme suit :

5 ore/oil carriers	289 570 dwt
2 ore carriers	152 000 dwt
4 chemical carriers	108 850 dwt
8 bulk carriers	182 640 dwt

L'âge moyen de cette flotte est de 7 à 8 ans.

Par ailleurs, 3 ore/oil carriers de 265 000 dwt sont en construction et devraient être mis en service en 1973 et 1974.

ɜs usines sidérurgiques du Texas

Les usines de Cedar Point et de Houston disposent toutes deux d'importantes aciéries électriques, devant être prochainement alimentées par des produits de la réduction directe ; toutes deux sont aussi de gros producteurs de tôles fortes.

L'usine de Cedar Point, de l'U.S. Steel, dispose d'un train à tôles fortes de 160", mis en service fin 1969/début 1970, d'une capacité de 1 million de t c de tôles fortes par an.

Au printemps de 1971, l'équipement a été complété par la mise en service de 2 fours électriques de 200 t c, d'une installation de coulée continue pour brames (type U.S. Steel) considérée comme l'une des plus rapides du monde (75"/mn pour une brame de 7" d'épaisseur et de 6' de large) et d'installations de dégazage sous vide.

Les fours électriques utilisent actuellement de la ferraille mais doivent être alimentés, à partir de la fin de 1972, en boulettes métallisées provenant d'une usine de réduction directe construite au Venezuela par l'U.S. Steel (la capacité de cette usine sera de 1 million de t/an de boulettes à plus de 90 % de fer pur).

L'usine de Houston, de l'Armco Steel, est également un gros producteur de tôles fortes et dispose en outre, depuis 1971, d'un train à poutrelles à larges ailes, d'une capacité de 500 000 t c/an.

L'Armco Steel construit actuellement à Houston une installation de réduction directe qui doit alimenter les 6 fours électriques en boulettes pré-réduites d'une teneur en Fe de 90 % à 92 %, obtenues à partir de boulettes oxydées d'une teneur en Fe de 67,5 %. Le coût de l'installation est évalué à $ 14 millions ; sa capacité de production sera de 1 000 t c/jour. Les ingénieurs de l'Armco Steel étudieraient actuellement la possibilité d'un système continu de chargement des boulettes pré-réduites dans les fours électriques soit par bandes, soit par tubes pneumatiques. L'Armco reçoit les boulettes oxydées d'une mine de Pea Ridge, Mo (appartenant en partie à Bethlehem), mais s'efforce de trouver de nouvelles sources d'approvisionnement et aurait pris notamment des contacts avec le Pérou, le Brésil et l'Australie.

Si le fonctionnement de l'installation de réduction directe s'avère satisfaisant, l'Armco pourrait arrêter le haut fourneau de l'usine de Houston, supprimant ainsi certaines difficultés posées par le contrôle de la pollution.

Production et expéditions de minerai de fer de Hamersley (Australie) en 1971

Production.

La production de minerai brut de gisement de Mt Tom Price s'est élevée à 39,01 millions de tonnes dont 20,06 millions de tonnes ont été envoyées aux installations de broyage, 11,33 millions de tonnes aux stocks de qualité inférieure et 7,63 millions de tonnes sont considérées comme inutilisables.

Le tonnage traité par les installations de broyage a donné 12,01 millions de tonnes de morceaux de haute qualité, 5,94 millions de tonnes de minerais fin de haute qualité et 2,03 millions de tonnes de morceaux et minerais fins à moindre teneur en fer.

L'installation de bouletage de Dampier a produit 2,48 millions de tonnes de boulettes en 1971 (contre 1,85 million de tonnes en 1970).

Expéditions.

Les expéditions ont porté sur 20,39 millions de tonnes de minerai et boulettes (contre 16,76 millions de tonnes en 1970), se répartissant comme suit :

— Japon : 14,68 millions de tonnes (+ 1,78 million de tonnes par rapport à 1970) ;

— Europe et Amérique du Nord : 5,71 millions de tonnes (+ 1,85 million de tonnes par rapport à 1970).

Les minerais fins pour agglomération ont représenté 30 % des minerais en 1971, contre 24 % en 1970.

Contrats nouveaux.

Un contrat a été conclu avec le Pohang Iron and Steel (Corée du Sud) pour la période 1973-1982 ; Hamersley livrera d'abord 950 000 t d'ici à 1976, ultérieurement 450 000 t par an.

D'autre part, un contrat a été conclu avec Ensidesa et Uninsa (Espagne) pour la livraison de 500 000 à 700 000 t de minerai en morceaux en 1972-1973.

Transports.

Le parc ferroviaire de Hamersley comprend maintenant 28 locomotives et 1 488 wagons.

En 1971, 326 minéraliers ont été chargés à Dampier contre 288 en 1970.

Perspectives.

Le démarrage de la production à la ncuvelle mine de Paraburdoo a été retardé du fait du ralentissement de l'expansion de la sidérurgie japonaise.

L'aménagement du port d'East Intercourse a été poursuivi : ce port sera accessible aux minéraliers de 160 000 t à partir du milieu de 1972.

La construction d'une installation SL-RN pour la production de boulettes pré-réduites a été également retardée du fait de la découverte de gaz naturel au large du port de Dampier. En effet, s'il était possible d'utiliser le gaz naturel pour la réduction directe, au lieu du charbon de l'Est australien, il en résulterait d'importantes modifications aux plans de l'installation telle qu'elle avait été d'abord envisagée.

Quant au gisement de Koodaideri, à 130 km à l'Est de Mt Tom Price, ses réserves certaines sont de plus de 700 millions de tonnes d'une teneur moyenne évaluée à 62 % Fe. Cependant, le minerai est fortement phosphoreux et il paraît peu probable qu'il puisse trouver prochainement des débouchés, à moins de le mélanger avec un minerai à faible teneur en P.

(« Metal Bulletin »).

onstruction d'une usine d'aciers spéciaux à Rengo (Chili)

L'Indac (dans laquelle la Corporacion de Fomento de la Produccion — Corfo — détient une participation de 80,52 % et dont le contrôle direct est exercé par la Cia de Acero del Pacifico S.A.) a mis en service à la fin de 1971 un premier four électrique dans l'usine d'aciers spéciaux en construction à Rengo, à 125 km au sud de Santiago.

La construction de l'usine (réalisée à 70 %) est assurée par l'entreprise chilienne Sigdo Koppers. La production initiale sera de 40 000 t/an d'aciers spéciaux, mais pourra être portée à 120 000 t/an par la construction de 2 autres fours. Tout l'équipement a été fourni par le Japon.

Le four électrique, d'une capacité nominale de 10 t, complètement automatisé et doté d'un transformateur de 7 000 kVA, permettra de produire des lingots de 3,8 t, qui seront pour l'instant envoyés à l'usine de Huachipato, de la CAP, pour laminage. Il sera approvisionné en ferrailles d'origine chilienne.

Les installations de laminage, actuellement en cours de construction, permettront de produire 25 000 t/an de produits finis (barres de 10 à 50 mm de diamètre et 12 m de long, barres rondes en couronnes de 10 à 18 mm de diamètre, fil machine de 5,5 à 9,5 mm de diamètre, barres méplates de 100 × 12,5 mm, cornières de 80 × 80 × 6 mm). Elles comprendront :

— 1 dégrossisseur trio de 500-1 500 mm,

— 6 cages duo en continu de 400-750 mm,

— 5 cages finisseuses de 350 à 320-750 mm, de type cross-country,

— 6 cages duo de 250-450 mm pour le laminage du fil machine.

En une première étape, les installations de laminage seront alimentées en billettes par l'usine de la CAP d'Huachipato, jusqu'à la mise en service d'une installation de coulée continue.

L'Indac exploite déjà à Santiago une petite usine dotée d'une aciérie électrique et d'installations de laminage permettant de produire 15 000 t/an de profilés divers.

Projets de développement minier du Venezuela

La direction des Mines a établi un vaste plan de développement minier comprenant 7 projets, dont 4 sont déjà en cours de réalisation, 1 en cours de négociation et 2 au stade des études préliminaires.

Minerai de fer de San Isidro.

Ce projet, déjà en cours de réalisation, prévoit la mise en valeur de gisements dont les réserves sont évaluées à 677 millions de tonnes de minerai d'une teneur allant de 55 % à 68 % Fe.

Dans une première étape, il est prévu d'atteindre une production annuelle de 4,5 millions de tonnes de minerai (dont 1 million de tonnes pour la société sidérurgique vénézuélienne Sidor et 3,5 millions de tonnes pour l'exportation). Simultanément, on entreprendra la construction d'une installation de bouletage d'une capacité de 2,5 millions de tonnes, travaillant à la fois pour la Sidor et pour l'exportation.

Ultérieurement, la production sera portée à 6 millions de tonnes/an de minerai et boulettes puis enfin à 10 millions de tonnes/an.

La réalisation du projet implique la construction d'une voie ferrée et d'installations portuaires permettant le chargement des minéraliers de 80 000 t à la cadence de 3 000 à 6 000 t/h.

Charbon de Naricual.

Il est prévu d'investir 180 millions de bolivares pour la construction d'une cokerie (d'une capacité minimale de 360 000 t/an) et d'une installation de lavage du charbon, la modernisation de la voie ferrée, etc.

Charbon de Zulia.

La production devrait atteindre de 4 à 5 millions de t/an, moyennant des investissements de l'ordre de 400 millions de bolivares. La concession inclut également le charbon de Lobatera, dans les Andes, si bien que la production totale devrait non seulement permettre de couvrir les besoins vénézuéliens mais aussi laisser un surplus pour l'exportation.

Nickel.

Une entreprise mixte doit être constituée par l'état vénézuélien (51 %) et par la société française Le Nickel (49 %). Le projet prévoit la production annuelle de 20 000 t de nickel et 80 000 t de ferro-nickel. Une partie de cette production sera destinée à l'exportation.

Par ailleurs, la Direction des Mines envisage des investissements aux mines d'or d'El Callao, aux mines de bauxite de l'Etat de Bolivar, aux mines de cuivre, plomb et zinc de Bailadores et aux mines d'amiante de Tinaquillo.

Pour la réalisation de ces divers projets, il a été proposé au Congrès vénézuélien de constituer une nouvelle société, la Corporacion Minera Venezolana.

colloque sur l'électrothermie dans l'affinage des métaux

(Versailles, 25-26 mars 1971)

Les 25 et 26 mars 1971, s'est tenu, au Palais des Congrès de Versailles, sous la présidence de M. Combeau, Président du Comité Français d'Electrothermie (C.F.E.), le colloque sur « l'électrothermie dans l'affinage des métaux ».

Quatre cent trente-cinq personnes, dont cent trente étrangers, ont participé aux diverses réunions, où était assurée la traduction simultanée des débats en anglais, allemand et français.

Après l'ouverture du colloque par M. Combeau, M. Castro, Directeur scientifique à Ugine-Aciers et Président des séances de travail, a fait un exposé d'introduction sur les nouveaux procédés de traitement industriel, dont l'évolution a été provoquée par les exigences de plus en plus grandes de la métallurgie.

Voici l'exposé de M. Castro :

L'élaboration de l'acier par les procédés conventionnels s'est longtemps heurtée, et se heurte toujours, à des difficultés quand un certain nombre d'éléments présents à des teneurs faibles ou très faibles devaient être éliminés des bains sous peine, ou bien de conduire à des incidents lors de la solidification ou de l'obtention des demi-produits — c'est le cas de l'hydrogène par exemple —, ou bien de risquer le refus du métal lors du contrôle de propreté — c'est celui de l'oxygène et du soufre. Aussi, quand les premiers essais de dégazage au jet furent effectués, il y a déjà de nombreuses années, et conduisirent à des résultats intéressants lors de l'obtention de produits issus de lingots de forte section, un nouveau pôle d'intérêt se présenta-t-il aux métallurgistes : celui des traitements à la sortie des fours d'élaboration, avant coulée des produits finals.

C'est ainsi que naquirent les procédés, aujourd'hui très nombreux, de traitements industriels par le vide et par des atmosphères inertes. Au fur et à mesure que ces procédés se sont développés, leurs servitudes aussi bien que leurs possibilités, initialement non toujours prévues, sont apparues, et l'évolution de ces méthodes, toujours en cours aujourd'hui, tient compte de ces observations.

C'est ainsi qu'outre l'effet de dégazage initialement escompté, soit par le vide, soit par barbotage de gaz inertes, on a pu mettre à profit le déplacement des équilibres carbone-oxygène à faible pression, l'effet bénéfique de l'agitation et du brassage des masses liquides sur la coalescence ou l'agglomération des inclusions et leur élimination accélérée et irréversible vers la surface du métal et les interfaces métal-laitier ou métal-réfractaire, et l'effet d'homogénéisation thermique dans les masses de métal liquide.

Par contre, l'abaissement plus ou moins rapide des températures du métal traité, pouvant conduire

par exemple à des incidents de coulée ou à des cessations ou des rétrogradations des réactions chimiques escomptées, a rapidement conduit les métallurgistes à tenter de compenser ce refroidissement par un apport de calories permettant d'une part, de couler à la température désirée et d'autre part, de prolonger le traitement pendant le temps nécessaire.

Nous avons donc assisté à la dissociation des opérations métallurgiques classiques en deux phases qui tendent peu à peu à devenir distinctes et qui sont tout d'abord l'opération primaire de fusion en masses relativement importantes de l'acier dans des fours conventionnels, terminée ou non par une opération de pré-affinage, et ensuite, une étape secondaire dans des outils distincts dans lesquels les opérations ultimes de dégazage et d'affinage final, de mise à la nuance et même de décarburation poussée dans certains cas particuliers pouvaient être faites, un apport thermique continuant à être fait en compensation des pertes.

Il semble bien, sur un plan prospectif, que cette dissociation s'affirmera de plus en plus, au fur et à mesure que la connaissance du rôle des impuretés conduira à en abaisser encore et toujours le taux admissible, et que cette nécessité, couplée à celle de l'automatisation des opérations de fabrication, obligera à rechercher davantage de degrés de liberté dans les divers facteurs de l'élaboration.

La première partie des contributions à ce colloque s'est attachée à faire le point sur cette évolution et sur les possibilités actuelles des techniques correspondantes.

Quel sera le second pôle d'intérêt du colloque ? Héritée des techniques de métaux trop réactifs pour être élaborés et fondus dans des creusets réfractaires tels que le titane, la fusion au four à arc à électrode consommable ou VAR s'est rapidement étendue aux aciers et autres métaux ferreux en apportant non seulement les armes que lui conféraient l'emploi du vide, les effets de la division du métal liquide et de l'agitation de ce métal sous l'effet des champs, mais des avantages nouveaux contre un autre ennemi traditionnel de la qualité des produits, à savoir la ségrégation, par l'effet d'un processus de solidification régulier et n'intéressant qu'une faible masse de liquide à la fois.

Le procédé VAR est aujourd'hui adulte et les améliorations qui lui sont encore apportées visent à élever le rendement des installations, donc à réduire l'investissement spécifique, à produire des lingots d sions croissantes et à utiliser des matières p de moins en moins élaborées.

Mais un jeune cousin du procédé VAR, sous laitier électroconducteur ou procédé E che à grandes enjambées dans les traces du Plus spécifiquement adapté à la fusion des non trop réactifs et tout particulièrement de il possède le même air de famille que son seur en ce qui concerne une qualité essen structure de solidification à faibles ségréga neure et majeure. Ici, l'affinage conféré pa sence du vide dans le VAR est produit par l du laitier électroconducteur, en général réa certaines impuretés telles que le soufre et l'

Là également, des recherches sont en co donner à la refusion ESR plus de souples possibilités en ce qui concerne l'apport de électrique, l'alimentation et la nature des premières, la forme des produits, etc.

Il est encore trop tôt pour dire si la con entre VAR et ESR se traduira par la prépo d'un des deux procédés. On peut bien d penser que chacune de ces deux techniques domaines préférentiels, fonction des exige mandées aux matériaux, de la forme et de l de leurs matières premières et enfin de le

Enfin, la troisième partie de ce colloc consacrée aux réalisations spéciales d'instru fusion et d'affinage. Certaines, qui ont été expérimentales il y a quelques années, passer d'hui à l'échelle du pilote industriel, comm utilisant les torches à plasma. D'autres, util canons à électrons, sont, dès maintenant, b plus largement développées et permettent n ment la fabrication d'aciers classiques de ha lité, mais une mise en forme de matériaux ne croyait pas jusqu'ici possible, telle que titane par moulage. Ces techniques de pointe d'ailleurs pas sans créer parfois des problèr veaux, tels que ceux posés par les différe volatilité des éléments d'alliage et des i dans les vides poussés et aux hautes tempé il faudra s'attacher à les résoudre.

L'électrothermie nous apparait donc, si l' de survoler l'ensemble des sujets qui sero aujourd'hui, comme une des clés essentielles grès dans le domaine de la métallurgie et pl culièrement de la métallurgie fine.

Comme pour les Colloques précédents organisés par le C.F.E., chaque Groupe de communicatio présenté et résumé par un rapporteur, lequel a ensuite provoqué et animé les débats avec l'auditoi donnons ci-après les listes des communications de chaque Groupe, ainsi que les synthèses des rapp

Après-midi du 25 mars

PROCÉDÉS DE DÉGAZAGE SOUS VIDE D'ACIER LIQUIDE

(5 communications)

Rapporteur : M. Le Moyne (Usinor)

• **Les procédés conventionnels de vide,** par J. Antoine (IRSID) :

M. Antoine fait un survol général de tous les procédés conventionnels de traitement sous vide connus. Après avoir rappelé ces différents procédés, il examine les principaux résultats métallurgiques qu'il est possible d'obtenir avec chacun d'entre eux. Enfin, M. Antoine parle de l'élaboration des inoxydables.

• **Le procédé ASEA-SKF pour l'affinage de l'acier,** par J. Uggla (A.S.E.A., Suède) :

Ce procédé a été créé pour permettre des fabrications de qualité élevée et régulière : faible teneur en H_2, en O_2 et en S, zones d'analyse et de températures étroites. L'installation se compose d'une poche en acier inoxydable, d'un brasseur à induction, d'un appareillage pour chauffer le matériel et d'un autre pour créer le vide à l'intérieur de la poche.

• **Principaux résultats du four à induction à canal d'aciérie,** par J. Antoine, F. Sauvage (IRSID) et P.L. Bonis (C.E.M.) :

Après avoir rappelé les caractéristiques techniques du four à induction à canal, les auteurs en citent les performances thermiques. Sa véritable faculté thermique est de maintenir en température un bain d'acier, et de procéder à des corrections de température et à des additions d'alliages. En ce qui concerne les possibilités métallurgiques, à la pression atmosphérique, le four à canal permet de réaliser toutes les opérations de mise à nuance et de désoxydation. Sous vide, il permet le dégazage poussé du métal, la désoxydation, les décarburations, la mise à la nuance d'aciers de types très divers.

• **Du nouveau dans l'élaboration de l'acier,** par C.F. Finkl (A. Finkl Sons Co., U.S.A.) :

C'est un procédé de traitement en poche avec apport d'énergie par arc triphasé. L'originalité des procédés Finkl réside dans les deux caractéristiques qui sont les suivantes :

— le brassage est réalisé pneumatiquement ;

— le chauffage se fait sous vide.

La puissance à préconiser pour les transformateurs est de 3 000 kW pour 25 t, 7 000 kW pour 60 t et 12 000 kW pour 150 t.

• **Le procédé Dynatherm,** par J. Verge (Heurtey S.A.) :

Ce procédé utilise un four à creuset à induction sous vide avec circulation du métal à l'aide de forces électromagnétiques. Il présente les avantages suivants :

— maintien en température du métal pendant le traitement ;

— vitesse de circulation ;

— brassages réglables et indépendants de l'apport calorifique ;

— absence de turbulence génératrice d'érosion dans les tubulures.

Rapport de M. Le Moyne (Usinor)

Depuis que les traitements sous vide existent, l'un des soucis majeurs pour les exploitants a toujours été le problème thermique. M. Antoine l'a clairement souligné dans son exposé d'ensemble sur les procédés dits conventionnels. Et dans l'introduction de l'exposé sur le procédé Finkl, M. Finkl rappelle très justement que les spécialistes du dégazage ont appris depuis longtemps que la température est beaucoup plus importante que le dégazage et qu'une coulée dégazée mais trop froide est infiniment plus

mauvaise qu'une coulée non traitée par le vide, mais à bonne température. Il faut donc, dans les procédés de traitement sous vide conventionnels, surchauffer notablement le métal par rapport à une élaboration classique, cette surchauffe pouvant, dans certains cas, être très importante, ce qui entraine des répercussions fâcheuses, tant au point de vue productivité des appareils qu'au point de vue métallurgique. Il est indéniable, et M. Antoine l'a rappelé dans son exposé, que des progrès importants ont été réalisés depuis dix ans dans le domaine thermique ; comme cas extrême, on peut signaler que, sur une installation de dégazage en poche généralement considérée comme très dispendieuse en calories, on est arrivé depuis peu dans une aciérie européenne à annuler complètement la surchauffe au four pour bon nombre de fabrications traitées sous vide. D'autre part, ainsi que l'a souligné M. Castro dans son introduction, l'optique des traitements sous vide se modifie d'année en année. Les installations sous vide, indispensables pour réaliser de très basses teneurs en hydrogène, étaient considérées comme ralentissant le rythme des fours et alourdissant sensiblement les prix de revient. A l'heure actuelle, on prend de plus en plus conscience que de telles installations sont capables d'élargir leurs champs d'action, d'augmenter la productivité des fours et d'améliorer les prix de revient, tout en assurant une qualité et surtout une régularité de qualité supérieure à ce que donnent les techniques conventionnelles. Les quatre exposés qui nous sont présentés aujourd'hui traduisent le souci des créateurs de proposer aux aciéristes des installations qui leur permettent de très larges possibilités métallurgiques, tout en travaillant dans les fours primaires à des températures conventionnelles, sinon plus basses. Nous allons donc résumer les cinq communications qui vous sont présentées aujourd'hui, puis nous en ferons la synthèse.

La première communication est celle de M. Antoine sur les procédés conventionnels de vide. Dans cette communication, M. Antoine fait un survol général de tous les procédés qui sont bien connus et familiers à beaucoup d'entre nous, mais il n'était pas mauvais qu'avant d'aborder des procédés nouveaux, l'on fasse un rappel des possibilités et surtout des limites des procédés dits conventionnels. Dans la première partie de son rapport, M. Antoine rappelle les différents procédés de traitement sous vide en les groupant en trois grandes classes : dégazage en poche, dégazage au jet, dégazage dans un élévateur (procédé DH et procédé RH) :

— dégazage en poche : c'est le plus ancien de tous les procédés et celui qui, à l'heure actuelle, possède de nombreuses variantes : procédé Gazid, procédé Stokes, traitement sous caisson et, mieux encore à l'heure actuelle, traitement en poche-caisson ;

— dégazage au jet : il possède également de nombreuses variantes (dégazage poche-lingot, dégazage de poche à poche, dégazage four-poche) ;

— pour le dégazage dans un élévateur tel procédé RH ou le procédé DH, procédé T Flow, M. Antoine signale la complexité des reils par rapport au dégazage en poche, t reconnaissant que les deux procédés o d'énormes progrès au cours de ces de années.

Dans la deuxième partie de son exposé, I toine rapppelle les principaux résultats m giques qu'il est possible d'obtenir par traitemer vide : déshydrogénation, dénitruration, désoxy M. Antoine s'étend assez largement sur les mes de désoxydation. En effet, c'est l'un des les plus discutés à l'heure actuelle, deux ty réactions très différents pouvant être utilisé un traitement sous vide. Premièrement : élir d'oxygène dissous en faisant intervenir la pu affinité sous vide du carbone pour l'oxygène. [me mode de désoxydation : la désoxydation su calmé. L'agitation du métal favorise la fo d'amas d'inclusions, d'où une décantation plus Bien entendu, ce mode de désoxydation fait raitre un facteur essentiel qui est le brassage, tion qui ne semble pas remplie, tout au moin samment, avec tous les appareils de traitemer vide. Partant de ces considérations, M. Antoi plusieurs variantes pour les traitements de dation en ne manquant pas de souligner q difficile, à l'heure actuelle, de dire quelle est thode la meilleure au point de vue « désoxyd et de donner la supériorité à un appareil de tra donné. L'auteur ajoute d'ailleurs qu'en mati désoxydation, la teneur en oxygène est loin le seul critère, la forme des inclusions, et m composition de ces inclusions, pouvant dans cas jouer un rôle déterminant quant aux car tiques du métal. Une des autres possibilit traitements sous vide est la mise à nuance, possibilité est déjà utilisée fréquemment, et en plus, par de nombreux exploitants de tra sous vide. Enfin, M. Antoine parle de l'élat des inoxydables et il faut reconnaitre à ce su c'est un des domaines où la mise en servi exploitations de traitement sous vide a appo véritable révolution dans la fabrication de d'acier.

Dans le troisième chapitre, M. Antoine fa ques remarques sur l'exploitation des procé traitement sous vide en insistant particulièrem les résultats thermiques.

En conclusion, l'auteur de l'exposé soulig

— que le prix de revient de traitement est un important, mais que la comparaison entre le rents procédés est délicate à faire, car il f seulement tenir compte des frais directs c tation des installations, mais encore des dé ou des gains qui interviennent au niveau de

— que l'obtention de résultats métallurgiqu liée essentiellement à des problèmes de

thermiques, d'où les efforts poursuivis depuis quelques années pour mettre au point des procédés possédant une source de chauffage.

●

Concernant ces procédés nouveaux mettant en œuvre une source de chauffage, le premier exposé qui nous est présenté aujourd'hui est le procédé ASEA-SKF. Dans son introduction, l'auteur de l'exposé insiste sur le fait que si la fabrication d'acier est en train de devenir de plus en plus le résultat d'une science, les méthodes conventionnelles d'élaboration doivent être améliorées afin de permettre des fabrications de qualité élevée et régulière, ce qui suppose faible teneur en hydrogène, faible teneur en oxygène, si besoin est, faible teneur en soufre, gamme d'analyses étroite, gamme de températures étroite. Le procédé ASEA-SKF a été créé, d'une part pour répondre à ce but, d'autre part pour améliorer la productivité des appareils primaires. En ce qui concerne la technologie du procédé, une installation ASEA-SKF se compose essentiellement d'une poche à tôlerie en acier inoxydable, d'un brasseur à induction stationnaire ou placé sur chariot, d'un appareillage électrique pour chauffer le métal par arc, d'un appareillage pour créer le vide à l'intérieur de la poche. La poche entourée par le brasseur peut recevoir, soit un couvercle de chauffage, soit un couvercle étanche au vide pour le traitement sous vide. Le garnissage de la poche est à haute teneur en alumine, soit même en briques basiques. L'équipement électrique pour le chauffage est le même que celui d'un four à arc, mais dans sa communication, l'auteur ne donne pas d'indication sur la puissance des transformateurs.

Dans la communication qui nous est présentée, l'accent est mis sur plusieurs points. Le procédé ASEA-SKF est un procédé très souple : l'installation permet le dégazage tel qu'on l'entend conventionnellement, le réchauffage avec possibilité d'obtenir une température très précise, la désulfuration, éventuellement la décarburation, des additions importantes d'alliages, des analyses serrées. Du point de vue métallurgique, le brasseur, qui est en service pendant toute la durée du traitement, joue un rôle capital en ce sens qu'il accélère fortement les réactions de surface et les réactions de volume. Ceci est déterminant pour l'élimination de l'hydrogène, la désoxydation, l'homogénéisation thermique et chimique du métal, la désulfuration. En ce qui concerne les résultats métallurgiques, un point, très important à notre avis, est souligné à plusieurs reprises dans l'exposé, à savoir : le traitement sous vide ne s'impose que pour l'élimination de l'hydrogène. Autrement dit, si l'on ne recherche pas de basses teneurs en hydrogène, la phase de dégazage peut être supprimée. En matière de désoxydation, l'auteur écrit : il a été constaté qu'une opération de précipitation-désoxydation par l'aluminium donne des teneurs en oxygène aussi basses que le dégazage et avec la même sûreté. Ce résultat est dû au brassage efficace. Nous avouons être entièrement d'accord sur cette constatation, car, à la suite d'importants essais menés sur une installation d'un autre type, nous avons depuis plusieurs années soutenu cette thèse, qu'en matière de désoxydation, le brassage du métal jouait le rôle capital et qu'il n'était pas indispensable de faire appel à la désoxydation par voie gazeuse pour obtenir un acier à faible teneur en oxygène et d'une haute propreté interne. Le procédé ASEA-SKF permet la désulfuration. En raison de son principe, à condition que la poche ait un revêtement basique dans la zone du laitier, le procédé ASEA-SKF permet des résultats intéressants au point de vue désulfuration. L'exposé donne les résultats obtenus en marche industrielle à l'aciérie de Bofors. Avec un indice de basicité de laitier $\frac{\text{chaux} + \text{MgO}}{\text{silice}}$ de 3,5 à 4,5 avec une addition de mischmetall de 0,2 % dans un bain soigneusement désoxydé à l'aluminium, il est possible, en partant d'un acier à 20, 30 millièmes de soufre, d'obtenir une teneur en soufre de 1 à 2 millièmes %. Avec une addition de 0,1 % de mischmetall, Bofors obtient 3 à 5 millièmes %. Et sans addition de mischmetall, la teneur en soufre est ramenée de 25 à 13 millièmes en moyenne. La durée totale de traitement dans une installation ASEA-SKF depuis le moment où la poche quitte le four à arc jusqu'au moment où elle quitte l'installation ASEA-SKF est de l'ordre de 2 h 40 mn lorsqu'on vise une désulfuration. Sans traitement de désulfuration, ce temps est d'environ 2 h 1/4. L'auteur donne des renseignements assez précis sur les frais de traitement et sur le gain que l'on peut en espérer pour la productivité du four. Et dans sa conclusion, l'auteur indique que toute comparaison du procédé ASEA-SKF est difficile à faire avec d'autres procédés, car ce procédé est autre chose qu'un traitement sous vide.

Le deuxième exposé a trait au four à canal mis au point par l'IRSID et la C.E.M. Après avoir rappelé les caractéristiques technologiques du four à induction à canal, qui est représenté en France dans le domaine des aciéries par trois unités expérimentales de 7, 8 et 40 t et par trois unités de 18 t en service à l'usine de Decazeville, les auteurs de la communication donnent d'abord les performances thermiques d'un tel type de four. De par sa conception, les pertes thermiques d'un tel appareil sont faibles, ce qui se traduit par une basse puissance de maintien. En chauffage, le rendement énergétique est d'environ 70 %. En raison de la faible puissance actuelle des inducteurs, la vitesse de chauffage est, bien entendu, faible pour un four de plus de 30 t. C'est ainsi que pour un four de 40 t muni d'un inducteur de 800 kW, l'élévation maximale de température n'est que de 36°C/h.

En conclusion, les auteurs précisent que la véritable vocation thermique du four à canal est de maintenir en température en bain d'acier et de procéder à des corrections de température et des additions d'alliages. D'autre part, les auteurs soulignent que des développements sont à attendre dans la puissance des inducteurs, dans les années à venir.

En ce qui concerne les possibilités métallurgiques, à la pression atmosphérique, le four à canal permet de réaliser toutes les opérations métallurgiques de mise à nuance et de désoxydation comme au four à arc, avec l'avantage d'une moindre réoxydation. Sous vide, les résultats obtenus sur le four expérimental de l'IRSID ont permis de préciser les possibilités de ce type de four, en ce qui concerne la déshydrogénation, la dénitruration, la désoxydation de bain d'acier non calmé, l'affinage ou plus exactement la décarburation de bain à haute teneur en chrome, la mise à la nuance d'acier de types très divers.

En conclusion, les auteurs précisent que le four à canal possède une gamme de possibilités que peu de procédés de prix équivalent possèdent.

Tout en reconnaissant la valeur de cet exposé, nous regrettons un peu qu'il ait passé complètement sous silence les résultats industriels, alors qu'il existe maintenant des fours à canal en exploitation en France depuis deux ans environ. Certes, les possibilités métallurgiques du four à canal sous vide sont très intéressantes. Par contre, beaucoup s'interrogent sur l'exploitation industrielle d'un tel four appliqué à de l'acier : tenue de l'inducteur, tenue du garnissage, problèmes d'exploitation, taux de disponibilité, coût d'exploitation.

Le quatrième exposé a trait au procédé Finkl, de Chicago. Comme le procédé ASEA, le procédé Finkl est un procédé de traitement en poche, avec apport d'énergie électrique par arc triphasé. L'originalité du procédé Finkl réside dans les deux caractéristiques essentielles suivantes :

— le brassage est réalisé pneumatiquement,

— le chauffage se fait sous vide.

Dans sa communication, M. Finkl, promoteur du procédé, rappelle tout d'abord que, dès la mise en route en 1958 de leur installation de traitement sous vide en poche dans son usine de Chicago, la nécessité impérieuse d'adjoindre une forme de chauffage s'était fait sentir, la surchauffe au four n'étant qu'un expédient.

M. Finkl passe ensuite en revue les nombreux types de chauffage qui ont été envisagés ou même essayés, mais qui ont dû être abandonnés, soit en raison d'échecs technologiques, soit à cause d'un prix de revient trop élevé. Finalement, le problème du dégazage-chauffage a été résolu par l'utilisation simultanée d'électrodes de graphite standard alimentées en courant triphasé sous un vide de 100 à 150 torr combiné à un brassage intense à l'argon. Dans le procédé Finkl, on travaille au-dessus de la limite de stabilité de l'arc, mais l'inventeur du procédé pense toujours que le fonctionnement, dans les limites de stabilité de l'arc, serait prometteur à condition de trouver des réfractaires isolants valables pour protéger les électrodes. Il y a eu, d'autre part, une heureuse conjugaison entre les problèmes technologiques et métallurgiques. En effet, du point de vue métallurgique, la société Finkl est arrivée à la conclusion qu'on éliminait aussi bien l'oxygène sous un vide de 150 torr que sous un vide d'un torr. Sous une forme un peu plus nuancée, les exploitants du procédé Finkl sont donc arrivés à la même conclusion que les Suédois du procédé ASEA, à savoir l'intérêt tout à fait secondaire du niveau de vide quant au résultat de désoxydation. Nous pensons que ce point méritera d'être abordé largement dans les discussions qui vont suivre, car cela remet en cause bien des choses importantes et même la nécessité d'une installation de traitement sous vide de puissance conventionnelle lorsqu'on n'a pas de problème d'hydrogène à résoudre. Dans une installation Finkl, le cycle complet de déshydrogénation est d'environ 13 mn, désoxydation environ 17 mn, ce qui fait, au total, un traitement d'environ 30 mn. La vitesse de chauffe pendant la phase de désoxydation est d'environ 2 à 2,5°C/mn. Bien entendu, s'il y a des additions importantes d'alliage à faire ou si l'on procède à une désulfuration, la période de chauffe est augmentée en conséquence. La puissance préconisée par Finkl pour les transformateurs est de 3 000 kVA pour 25 t, 7 000 kVA pour 60 t, 10 000 kVA pour 100 t et 12 000 kVA pour 150 t. Avec de telles puissances, on peut chauffer à 3°C/mn. L'auteur de la communication souligne qu'avec une poche de grand diamètre, c'est-à-dire relativement peu effilée et un violent brassage, le bain s'est révélé capable d'absorber beaucoup plus de kWh qu'il ne l'avait espéré au départ.

La dernière communication a trait au procédé Dynatherm. Ce procédé, proposé par M. Pomey, est un procédé sous vide par circulation. Par rapport au procédé de circulation RH, il présente les deux différences essentielles suivantes :

— dans le récipient de dégazage, le métal est chauffé par induction ;

— la circulation du métal entre la poche et le récipient est assurée par les forces électromagnétiques créées par l'inducteur. Autrement dit, le récipient de dégazage est un four à induction à creuset relié à la poche par deux tubes : l'un au centre du creuset, l'autre latéral raccordé à la périphérie de la cuve.

La mise sous tension de l'inducteur crée une différence de niveau entre le centre et la périphérie du bain, d'où un mouvement ascendant du métal dans le tube latéral et un mouvement descendant dans le tube périphérique. Pour son inventeur, les avantages du procédé Dynatherm sont les suivants :

— maintien en température ou réchauffage du métal pendant le traitement ;

— on peut disposer d'une vitesse de circulation et d'un brassage, réglables et indépendants de l'apport calorifique ;

— on évite, par rapport à d'autres procédés, toute turbulence génératrice d'érosion dans les tubulures.

Pour le moment, il n'existe pas d'installation prototype, mais les hypothèses faites quant à l'utilisation des forces électromagnétiques pour créer la circulation du métal ont été vérifiées sur modèle travaillant avec du zinc fondu. A partir des données obtenues sur ce modèle, il a été déterminé quelles seraient les caractéristiques d'une installation Dynatherm pour une poche de 40 t.

●

On peut tenter de faire rapidement la synthèse des quatre communications présentées sur les nouveaux procédés de dégazage.

Les procédés dont nous venons de résumer les caractéristiques et les possibilités métallurgiques sont certainement séduisants puisque, grâce à un apport calorifique sous forme électrique, ils permettent d'opérer le traitement du métal en dehors des fours en toute « sérénité » thermique. Tous ces procédés ont ceci de commun, c'est qu'ils combinent chauffage et brassage. Et l'on peut dire qu'un choix très varié est offert aux aciéristes :

— procédé ASEA : chauffage par arcs, brassage par induction ;

— procédé Finkl : chauffage par arcs, brassage pneumatique ;

— procédé Dynatherm : chauffage et brassage par induction ;

— four à canal : chauffage et brassage par induction.

Il faut ajouter que, pour trois de ces procédés ASEA, Finkl, four à canal, le traitement peut se faire. soit à la pression atmosphérique ou tout au moins sous un vide très grossier, alors que le quatrième procédé Dynatherm impose de travailler sous un vide conventionnel. En ce qui concerne les possibilités métallurgiques, il est bien difficile de donner la supériorité à l'un ou à l'autre, car tous les quatre possèdent une souplesse indéniable.

Au point de vue thermique, le cas du four à induction à canal serait peut-être à mettre à part. Il paraît en effet, défavorisé par rapport à ses concurrents pour deux raisons :

— dans l'état actuel des réalisations, la puissance installée possible est nettement plus faible ;

— ce four impose des transvasements supplémentaires entraînant une chute notable de température qui ne pourrait être compensée que relativement lentement, étant donné la puissance de ce type de four.

En revanche, il faut reconnaître que, contrairement aux procédés ASEA et Finkl, dans le procédé du four à canal, la chauffe est effectuée pendant tout le traitement, ce qui compense partiellement les inconvénients précédemment cités.

On est, bien sûr, tenté d'opposer les différents procédés sur le coût d'investissement, les frais d'exploitation, la sécurité d'exploitation. Nous pouvons difficilement entrer dans ces sujets, car bien des données économiques essentielles n'ont pas été abordées dans certains exposés. Nous nous permettrons, cependant, de faire les remarques suivantes :

— à puissance installée égale, un équipement de chauffage par induction, surtout si l'on fait appel à une fréquence variable, est plus cher qu'un équipement de chauffe par arcs ;

— le brassage par induction est cher d'investissement d'une part en matériel électrique, d'autre part en poche à tôlerie amagnétique ; comparé au brassage pneumatique, il ne demande qu'un équipement très modeste et qui a fait maintenant largement ses preuves.

On peut, de plus, se demander si le brassage par induction se révélera suffisant sur des poches de très gros tonnage de dimensions classiques, alors que pour le brassage pneumatique, on ne voit pas de limite et que l'on peut, notamment sous vide, obtenir une énorme intensité de brassage, quel que soit le tonnage de la coulée. Sous vide, le brassage par induction a théoriquement l'avantage de permettre un niveau de vide plus poussé pour une même puissance d'installation de création du vide. Mais, comme il s'avère de plus en plus qu'en matière de désoxydation le niveau de vide joue un rôle secondaire, l'avantage dans ce domaine du brasseur par induction apparaît de plus en plus théorique.

En ce qui concerne la sécurité d'exploitation, nous pouvons tout de même penser que le chauffage par arc offre plus de sécurité. Et, compte tenu du domaine classique des fours à induction à acier, où le four de tonnage moyen a du mal à s'implanter, on peut se demander si les procédés de traitement par induction arriveront à s'imposer pour des tonnages unitaires très importants.

Du point de vue métallurgique, le problème de la désoxydation, qui a déjà fait couler beaucoup d'encre et qui reste au centre des débats concernant le traitement du métal en dehors des fours, est abordé très largement dans plusieurs communications. Nous avons signalé que, dans l'exposé sur le procédé ASEA-SKF et ses résultats industriels, il nous est dit avec insistance que l'utilisation du vide n'est indispensable que pour obtenir des basses teneurs en hydrogène. Dans l'exposé sur le procédé Finkl, nous venons de voir que l'utilisation d'un vide très grossier, de l'ordre de 100 à 200 torr, permettait de très bons résultats en matière de désoxydation. Si vous le voulez, nous allons nous permettre en quelques instants de remonter un peu dans le passé. Les procédés de traitement sous vide, dits conventionnels, ont tous été créés pour éliminer l'hydrogène. Du fait que l'on travaillait sous vide, on se donnait *ipso facto* la possibilité de mettre en jeu la désoxydation par voie gazeuse, étant donné la puissante affinité sous

vide du carbone pour l'oxygène. Il faut bien reconnaître que, pendant dix ans, sinon plus, on n'a parlé théoriquement et pratiquement que de cette désoxydation par voie gazeuse, en s'apercevant d'ailleurs assez vite que l'on obtenait des teneurs en oxygène assez éloignées de celles correspondant à l'équilibre carbone-oxygène, malgré l'utilisation de vides de plus en plus poussés.

Il faut ajouter, comme l'a souligné M. Antoine dans sa communication, que pour les exploitants de traitements sous vide, la désoxydation par voie gazeuse n'est pas sans reproche, car elle donne parfois lieu à des réactions violentes entraînant des dégagements gazeux difficilement contrôlables.

Il y a six à sept ans, quelques aciéries, et notamment en France, ont commencé à s'intéresser à une technique de désoxydation complètement différente de la précédente. Cette technique consiste à mettre tout d'abord l'oxygène en combinaison, donc à calmer entièrement le métal, puis à faire coalescer les inclusions et à les éliminer facilement par un intense brassage du métal. Cette technique a fait rapidement la preuve de son efficacité, et il faut reconnaître que, d'année en année, elle fait de nouveaux adeptes. On peut alors très bien arriver, en matière de désoxydation, à une conception des installations de traitement sous vide tout à fait différente de la conception originelle et qui consiste à dire : le vide est là :

— pour créer ou faciliter le brassage intense de l'acier,

— pour soustraire pendant le traitement le métal à l'action pernicieuse de l'air.

Or, il s'avère que :

— il n'est pas indispensable de faire appel au vide pour créer un brassage intense du métal ;

— la protection du métal contre l'action de l'air, dont l'effet quantitatif est d'ailleurs assez mal connu, peut être réalisé autrement que par le vide.

Autrement dit, nous pensons qu'à l'heure actuelle, on ne peut plus affirmer qu'il soit indispensable de disposer d'une installation de traitement sous vide pour réaliser une désoxydation très poussée du métal et obtenir un métal à très faible taux d'inclusion. Nous n'entrerons pas plus avant dans ce sujet, car il sort un peu trop du cadre des préoccupations de cette journée.

Matinée du 26 mars

PROCÉDÉS SPÉCIAUX DE FUSION ET D'AFFINAGE DES ACIERS ET MÉTAUX RÉFRACTAIRES

(8 communications)

Rapporteur : M. Morlet (Creusot-Loire)

- **Les fours à arc sous vide,** par M. Barbazanges (Consarc Corporation Europe) :

Le four à arc sous vide à électrode consommable : four VAR, appliqué pour la première fois à la refusion des alliages réfractaires vers 1953, est devenu maintenant un instrument de fusion simple et largement automatisé. Les divers perfectionnements qui lui ont été apportés lui ont permis d'étendre largement son domaine d'application.

Chaque four est à double station de fusion. Le temps d'immobilisation du four entre opérations est ainsi ramené de plusieurs heures à 20-30 mn, ce qui, en pratique, a fait passer le temps moyen d'utilisation de l'installation de 70-80 % à 92-96 %. Le contrôle par résistance saturable des équipements de puissance a permis la programmation automatique du cycle de fusion.

Le four à arc sous vide est pratiquement l'outil exclusif utilisé pour l'obtention de lingots à partir de l'éponge pour la refusion du titane et des métaux réactifs. Consarc a étudié, au début de 1968, le premier four à arc sous vide à deux stations de fusion et « marche continue ». L'objectif recherché était de réaliser, à un prix modéré, un four permettant de supprimer, pratiquement complètement, les temps d'immobilisation entre opérations, sans exiger pour cela de personnel supplémentaire.

Pour le recyclage des chutes de titane, le procédé qui s'est révélé à la fois le plus pratique et le plus économique est la refusion par électrode non consommable.

- **Les fours à arc sous vide,** par MM. Scheidig et Schwartz (Sté Leybold Heraeus, R.F.A.) :

C'est surtout la fusion d'aciers avec des pourcentages plus élevés en éléments facilement oxydables, comme le titane et l'aluminium, qui continue à être effectuée avec succès dans le four VAR. Il faut souligner, en outre, la réduction considérable de la teneur en hydrogène et en oligo-éléments volatils, comme le plomb, l'arsenic, l'antimoine et le bismuth. Dans le domaine VAR, LH s'est intéressé tout particulièrement à l'équipement de lignes de productions complètes, de l'éponge de titane jusqu'au lingot et la fabrication de tubes, en passant par les mélangeurs, les mixeurs, les presses et la fusion des électrodes.

- **Procédé « bifilaire » de refusion d'électrodes consommables sous laitier électroconducteur,** par L. Antoine (Sté Creusot-Loire).

Le procédé E.S.R. consiste à fondre, en l'absence de tout arc, une ou plusieurs électrodes à l'intérieur d'une lingotière refroidie généralement par circulation ou aspersion d'eau, par le moyen d'un laitier liquide électroconducteur porté à haute température par effet Joule.

Les gouttes de métal, qui se détachent de la pointe de l'électrode, traversent la couche de laitier, où elles subissent une épuration poussée par échanges physico-chimiques avec ce dernier, pour venir se rassembler dans la lingotière et former un lingot qui se solidifie au fur et à mesure de sa formation. La conjonction de l'épuration physico-chimique de l'acier et de la solidification progressive et dirigée du lingot confère une amélioration remarquable de qualité au métal refondu, par rapport à l'électrode. Les spécialistes soviétiques ont développé un schéma monophasé original et breveté, dans lequel deux électrodes de même section (ou éventuellement un nombre pair d'électrodes), raccordées en série dans le circuit électrique, sont fondues simultanément dans une lingotière. Il s'agit du procédé « bifilaire ».

Il en résulte des caractéristiques électrotechniques plus favorables que dans le cas du schéma unifilaire, un facteur de puissance plus élevé et une pleine utilisation de la puissance du transformateur. Ce schéma permet donc, pour la réalisation d'un lingot donné, de faire appel à une puissance installée plus faible que dans le schéma unifilaire, ou, pour une puissance installée donnée, de réaliser de plus gros lingots qu'avec le schéma unifilaire. Suit la comparaison des résultats obtenus dans un four transformé d'unifilaire en bifilaire.

- **Résultats d'exploitation d'un four Electroslag Consarc à Simonds Steel Division,** par M. Reese (Simonds Steel Div., U.S.A.) :

Le procédé de refusion sous laitier électroconducteur est en application depuis un an environ à Simonds Steel Division, de Wallace Murray Corporation. Le rapport donne une description générale de l'atelier de refusion du four Electroslag et de ses équipements auxiliaires, et traite de la préparation de l'électrode et du laitier, du processus de fusion et de manutention du lingot. Les avantages du procédé Electroslag exposés sont basés sur une expérience pratique portant sur 17 types différents d'aciers alliés, d'aciers à outils, d'inoxydables, d'alliages réfractaires à base de nickel et de cobalt et de divers autres alliages non ferreux.

- **Résultats métallurgiques et productivité d'installations de refusion sous laitier,** par G. Lamarque (S.A. Heurtey, France) et le Dr. Holzgruber (Gebr. Böhler, Autriche) :

Principales améliorations apportées par le procédé : désulfuration importante et désoxydation notable, amélioration de la propreté du métal en inclusions non métalliques, amélioration sensible du taux de ségrégations mineures, obtention de structure de solidification longitudinale. Cette somme d'avantages entraîne au niveau des propriétés mécaniques des lingots obtenus, une amélioration sensible des qualités des produits et principalement au niveau de la striction, de la résistance à la torsion à chaud, de la résistance à la traction, de la résilience, du rapport entre qualités en long et en travers.

L'auteur examine ensuite les principaux paramètres de refusion : vitesse de refusion, paramètres électriques (courant, tension, puissance), choix des laitiers, puis il donne les critères de jugement d'une installation.

Il conclut que le procédé est arrivé maintenant à « pleine maturité » dans sa conception et son emploi.

- **La fusion d'aciers sous laitier électroconducteur avec addition de poudres métalliques,** par J. Levaux (Sté Cockerill, Belgique) et J. Sunnen (Sté Electrotherm, Belgique) :

Le procédé ESR consiste à refondre, au départ d'une électrode consommable et par l'action d'un laitier électroconducteur porté à haute température, une quantité de métal à l'intérieur d'une lingotière refroidie à l'eau. La fabrication des électrodes consommables est un problème technique important dont l'incidence sur le prix de revient est loin d'être négligeable.

Le système de la société S.E.A. (Soudure Electrique Autogène), procédé Arcos, ESR, plus addition de poudres métalliques, consiste à remplacer l'électrode consommable par un fil ou un feuillard. Ce fil ou ce feuillard est à la fois le conducteur du courant et le support magnétique de poudre de fer et d'alliages qui sont à débiter. Le support, fil ou feuillard, est plongé dans le bain de laitier maintenu liquide par effet Joule. Il entraîne d'une façon continue les poudres au sein du laitier. Tous les éléments métalliques

fondent très rapidement pour former le lingot limité par la lingotière et la base. Cette base est mobile vers le bas. Au fur et à mesure de la fusion, le lingot sort de la lingotière comme en coulée continue.

- **Procédés directs de fusion sous laitier électroconducteur pour aciers et métaux réfractaires,** par R. Theisen et A. Thomas (La Continentale Nucléaire S.A., G.D. Luxembourg) :

Les exigences qualitatives toujours grandissantes des consommateurs d'acier et l'effet des fluctuations conjoncturelles sur les centres producteurs à très gros investissement de capital expliquent les efforts de recherche et de développement consacrés surtout pendant les dernières années, tant à l'amélioration des procédés conventionnels qu'à celle des procédés plus avancés.

L'objet de cette communication est d'exposer les principes des procédés de fusion primaire sous laitier électroconducteur (E.S.M. electroslagmelting) tant pour la production d'aciers alliés que pour les métaux réfractaires.

Les procédés de fusion directe sous laitier électroconducteur présentent un avantage économique appréciable par rapport au procédé conventionnel de refusion. Le rendement et la qualité des produits dépendent fortement du choix des laitiers électroconducteurs. Les connaissances spécifiques pour chaque groupe de même nuance d'alliages doivent être élaborées ; ainsi il est absolument nécessaire d'adapter spécialement les laitiers employés conventionnellement.

Ces procédés peuvent être considérés comme une alternative avantageuse pour les fours électriques de haute puissance dès qu'un approvisionnement sûr en concentré de fer préréduit est assuré.

- **Considérations métallurgiques sur le procédé ESU,** par Dr-Ing. H.J. Klingelhofer (Leybold-Heraeus, Rheinstahl, R.F.A.) :

Pour M. Klingelhofer, la connaissance de la métallurgie de ce procédé relativement récent revêt une importance considérable, surtout en vue d'une orientation précise de l'évolution des réactions. La compréhension de l'interdépendance des réactions concernant l'atmosphère, le laitier et le métal, constitue une condition préalable pour pouvoir influencer par des mesures adéquates, l'enchaînement des réactions dans une direction ou dans une autre.

Rapport de M. Morlet (Creusot-Loire)

Bien que les thèmes de discussions qui sont au programme de ce matin soient sensiblement différents : refusion sous vide, refusion sous laitier électroconducteur avec apport de métal, soit sous forme d'électrodes, soit sous forme de poudre, il se dégage, des communications qui sont présentées, un certain nombre de caractéristiques communes. Tout d'abord, à une exception près, ces communications émanent de promoteurs de techniques ou de procédés. Ces communications ont, en général, un caractère descriptif.

D'autre part, il se dégage de l'ensemble des présentations, comme l'a indiqué M. Castro hier, un caractère de maturité. Même si le procédé de refusion de poudre avec intervention d'un laitier n'est encore actuellement qu'au stade semi-industriel ou pilote, il est certain qu'il aura très rapidement à faire la preuve de cette maturité pour entrer en compétition avec les autres procédés maintenant classiques. Cette maturité se traduit essentiellement — et rappelons-le au risque d'être banal — par une affirmation des conceptions d'installations, une relative facilité de conduite des opérations, enfin le souci de tirer le meilleur parti des matériaux et des matériels tant sur le plan technique qu'économique, d'une part grâce à une réduction des mises au mille de refusion, et d'autre part à une réduction des temps morts entre opérations sur les appareils. Ces tendances sont extrêmement marquées dans les deux communications qui sont relatives à la refusion sous vide.

MM. Barbazanges et Scheidig dégagent très nettement les soucis d'amélioration de productivité, la confirmation de la fiabilité et l'amélioration des mises au mille des produits refondus, en particulier dans le cas très difficile que représente la fusion des métaux réactifs, tels que le titane et le zirconium. Pour ceux-ci, il est proposé une solution d'implantation de fours à électrodes consommables et non consommables destinés à une récupération aussi complète que possible et, sous une forme noble, des scraps et retours de transformation.

En ce qui concerne l'amélioration de la productivité, elle vise essentiellement à la réduction des temps morts par l'utilisation d'une conception, maintenant classique, de fours à deux sites de refusion qui, pour les métaux autres que les métaux réactifs, permettent avec une organisation adéquate d'avoir des temps morts entre opérations de l'ordre de 30 mn ; pour les métaux réactifs et, essentiellement, pour des raisons de sécurité, cette durée entre opérations doit être, en général, augmentée. Consarc

propose une solution de four discontinu dont on peut penser qu'il s'agit, en fait, de deux fours n'ayant qu'une seule alimentation.

Le chapitre de la sécurité nous amène tout naturellement à parler des conditions de refroidissement pendant et entre les opérations. Plusieurs solutions sont offertes, mais il semble qu'il y ait une controverse sur l'intérêt du refroidissement par métal liquide. Nous verrons tout à l'heure, au moment de la discussion, qu'on peut se demander s'il n'y a pas d'autres solutions, qui ont d'ailleurs déjà été évoquées au cours d'autres colloques.

Une autre amélioration de productivité résulte d'une simplification de la conduite du four et, partant, réduction des équipes, permise en particulier par le contrôle de la refusion par réactance saturable. Sur le plan de l'amélioration de la fiabilité, on note le rappel, d'une part des précautions qui sont prises pour éliminer les champs magnétiques parasites au voisinage des lingotières et, d'autre part, l'utilisation judicieuse de bobines de brassage. Il y a également une prise de position nette quant à la technique de régulation utilisant le contrôle de la longueur d'arc. Il y aurait certainement sur ces points beaucoup à dire et peut-être que la discussion que vous susciterez nous permettra de les aborder.

On note également une amélioration des mises au mille grâce au suivi de l'opération de refusion par contrôle en continu du poids de l'électrode par jauge incorporée.

Tous ces perfectionnements sont, dans une certaine mesure, classiques, mais ils ne suffisent pas pour tirer le meilleur parti des techniques de refusion dans le cas des alliages réactifs tels que le titane et le zirconium. En effet, la récupération des scraps et produits de mise au mille sur ces alliages se fait, en général, en dégradant considérablement le produit et en l'utilisant sous forme très diluée. Pour y remédier, les auteurs proposent une solution de refusion au four à électrode non consommable qui permet de récupérer les scraps et d'obtenir des lingots de première fusion. Il est évident que ceci implique un investissement complémentaire et qu'il est souhaitable, sinon nécessaire, de discuter des conditions dans lesquelles un tel four peut et doit être implanté. Ainsi, nous retenons des communications de MM. Barbazanges et Scheidig l'affirmation de techniques qui, pour être maintenant classiques, n'en sont pas moins de nature à susciter encore de nombreuses questions, d'autre part, la présentation d'un ensemble original optimisant l'économie de l'élaboration et de la première transformation des alliages, en particulier de titane.

Journée du 26 mars

Après-midi

PROCÉDÉS SPÉCIAUX DE FUSION ET D'AFFINAGE DES ACIERS ET MÉTAUX RÉFRACTAIRES

(6 communications)

Rapporteur : M. Tricot (Ugine Aciers)

- **Les fours modernes à induction sous vide Heurtey-Stokes,** par G. Bazanté (Heurtey, France) :

La technique de refusion par induction sous vide vient d'entrer dans une période de mûrissement, de perfectionnement, d'approfondissement de ses vastes possibilités, grâce aux récents progrès technologiques : avènement de l'onduleur, augmentation des dimensionnements, des éjecteurs à vapeur, abaissement des pressions limites. Les techniques utilisées sont les techniques Stokes : Therm-I-Vac, Amp-Vac, fours de moyenne capacité (300 kg à quelques tonnes), fours de petite capacité (jusqu'à 300 kg), fours de grande capacité et fours spéciaux.

Parmi les procédés de production et d'affinage des métaux, entre le four électrique à arc, le four à électrode consommable et le four de refusion sous laitier, le four de fusion par induction sous vide occupe une place de choix. De ses améliorations à venir, dépendront beaucoup les positions des procédés situés en amont et en aval, dans les deux domaines de l'affinage et de la transformation des métaux.

- **Four rotatif à température élevée chauffé axialement par un plasma d'arcs transférés,** par D. Yerouchalmi (C.E.A.), MM. Foex et Delmas (C.N.R.S.) :

L'appareil ou engin de fusion à très haute température se compose essentiellement d'une source de chaleur et d'une cuve tournante formant le four proprement dit. La source de chauffage est formée par une association de torches à plasma d'arcs et de circuits d'alimentation électrique, une double enveloppe métallique refroidie par une circulation d'eau. La partie métallique inférieure du four est remplie du matériau réfractaire à fondre (oxydes, métaux, carbures, etc.) avec une cavité cylindrique axiale, ménagée pour le passage du plasma. Les applications sont nombreuses et variées :

— électrofusion d'oxydes réfractaires simples ou mixtes ;

— électrofusion de carbures, borures, nitrures, etc. ;

— électrofusion de métaux réfractaires, possibilités d'envisager une méthode d'élaboration de cristaux.

Le « four à plasma » décrit est un nouvel outil destiné à la recherche fondamentale et aux applications industrielles, avec des possibilités probablement non encore atteintes. Il paraît offrir à la recherche et au développement dans la technologie des hautes températures, des moyens conjugués très importants.

- **Les fours à induction à plasma,** par M. Hoshimoto (Daido Steel Co., Ltd, Japon) :

Un four à plasma de 500 kg (base acier) ayant une torche à plasma de 200 kW combinée à un chauffage par induction à fréquence industrielle de 200 kW a été mis au point économiquement en tant que four industriel. Il est possible de produire des aciers propres ayant une faible teneur en oxygène, en hydrogène et en impuretés, et comparables à ceux obtenus par fusion sous vide. La production d'acier à faible teneur en carbone et en soufre est possible. L'acier inoxydable à très faible teneur en carbone, un des aciers caractéristiques, a présenté d'excellentes propriétés de résistance à la corrosion intergranulaire. Pour la fusion des alliages cuivreux, la fusion en four à plasma a présenté d'excellentes caractéristiques d'usinabilité à chaud, etc. Sur la base des résultats ci-dessus, un four de 2 t va prochainement être construit et permettra la mise au point continuelle de fours industriels plus économiques en utilisant toutes les possibilités de la torche à plasma.

- **Résultats d'exploitation de fours multi-chambres à bombardement électronique de 200 kW et 1 200 kW,** par MM. Fiedler et Scharf (VEB Qualitäts- und Edelstahlkombinat, Edehlstahlwerk Freital, R.D.A.) et MM. Schiller, Lenk et Forster (Forschungsinstitut Manfred von Ardenne, Dresde, R.D.A.) :

Les impératifs de qualité toujours croissants, en particulier en ce qui concerne les aciers fins, exigent non seulement une recherche intensive dans le domaine des matières premières, mais également un développement rapide des procédés d'élaboration de l'acier. La refusion sous vide poussée ou sous laitiers, avec solidification ultérieure en cristallisoir refroidi par eau, permet des possibilités particulières pour modifier la composition et la structure, et, par là, également les propriétés du métal.

Dans le domaine de la fusion de métaux réactifs et à haut point de fusion, le four à bombardement électronique gagne en intérêt parce qu'il permet de refondre directement les retours de fusion. Le principe de la fusion électronique permet de faire cette opération de façon économique et est, dans ce cas, supérieure aux autres procédés de fusion sous vide comme, par exemple, le four à arcs sous vide.

L'introduction généralisée de la fusion par bombardement électronique dans le domaine de la métallurgie lourde est donc à prévoir si l'on développe des installations plus importantes ayant une puissance élevée, avec laquelle on pourra obtenir des frais de refusion sensiblement plus faibles.

- **Modifications de la composition chimique et de quelques propriétés de l'acier à roulements 100 C 6 à la suite de la fusion par faisceau électronique,** par MM. Stojsic et Cvetanovic (Institute for Technology of Nuclear and other Mineral Raw Materials, Yougoslavie) et Mme M. Tufegozic (Industry of Rolling Bearings, Yougoslavie) :

Comme toutes les autres méthodes de fusion, la fusion par faisceau électronique a ses avantages et ses défauts. Pour certains métaux, les avantages surpassent de beaucoup les défauts, permettant d'obtenir d'excellents résultats en ce qui concerne les caractéristiques du métal. D'autre part, des milieux sous vide important rendent impossible la fusion de métaux ayant des tensions de vapeur élevées à la température de fusion.

La trempabilité de l'acier à roulements 100 C 6 est diminuée par la fusion par faisceau électronique. Cette diminution ne revêt pas une importance pratique significative, car elle reste dans les limites admissibles. En dépit de cette diminution de la trempabilité, grâce aux effets d'affinage de cette méthode de fusion, cet acier peut être utilisé pour la fabrication d'éléments de roulements de petites sections, même sans compensation en manganèse. Une correction de la teneur en manganèse amène une augmentation de la trempabilité de l'acier de seconde fusion.

- **Four à bombardement d'électrons pour la coulée,** par MM. Stephan et Dietrich (Leybold Heraeus, R.F.A.) :

La coulée, effectuée dans un four à bombardement d'électrons, offre un grand nombre d'avantages : le procédé permet la surchauffe du flux de titane liquide pendant la coulée ; le bombardement du bain de titane est effectué continuellement pendant la coulée ; il en résulte un rendement plus élevé ; le bec de coulée peut être nettoyé, après chaque coulée, pour rétablir les conditions de départ pour la coulée suivante ; on peut aussi bien utiliser de la mitraille de titane que des lingots alimentés verticalement, c'est-à-dire que l'on peut partir avec un matériau moins cher ; il est possible d'effectuer plusieurs coulées sans interrompre le vide. Le skull de la coulée précédente est porté à fusion avant de charger le nouveau matériau ; les fuites d'eau, provoquées par surchauffe locale du creuset, sont pratiquement exclues du fait du programme et de la distribution du faisceau adapté. Le danger d'explosion n'existe pas ; la possibilité d'une contamination du titane liquide pendant la fusion et la coulée est réduite étant donné que la gamme de pression est à peu près de 10 torr.

Rapport de M. Tricot (Ugine-Aciers)

Cet après-midi, nous avons à discuter les communications concernant trois procédés de fusion : l'un maintenant classique, le four à induction sous vide, les deux autres beaucoup plus récents : le four à plasma, et le four à bombardement d'électrons.

Situons tout d'abord ces trois procédés en fonction de trois paramètres communs qui sont la pression, le temps et la température. La *figure 1* repréprésente, en abscisse, le temps d'élaboration et, en ordonnée, la pression lors de l'affinage.

On peut situer les caractéristiques des procédés déjà examinés hier et ce matin et constater que, tout d'abord, comparable sous l'angle « vide », la fusion par induction sous vide diffère de la fusion par arc sous vide par la durée d'opération. Deuxième aspect : la fusion par bombardement électronique diffère de la fusion par arc sous vide par la qualité du vide, ce dernier étant 10 à 100 fois meilleur : il permet donc d'augmenter la pureté des métaux. Troisième aspect : la fusion par plasma, donc à la pression atmosphérique, se caractérise surtout par les très hautes températures obtenues.

Voyons maintenant le procédé de fusion par four à induction sous vide et retraçons brièvement l'historique de la fusion par induction à l'air et sous vide. C'est au cours des années 1915 à 1920 que les premiers petits fours de fusion à haute fréquence de laboratoires ont fait leur apparition dans les services de recherche pour la fusion des métaux à haute température. Ces fours étaient alimentés par des générateurs à éclateurs tournants à étincelles, d'un rendement médiocre (de 40 à 50 %). Les études poursuivies alors montrèrent que les fréquences nécessaires étaient beaucoup moins élevées qu'on ne l'avait cru tout d'abord. C'est ainsi qu'on est arrivé à la construction d'alternateurs de puissance relativement importante, ce qui a permis d'alimenter, dès 1925-1930, des fours de capacité de 250 kg à 1 t. Depuis lors, le chauffage par induction est allé en se développant tant par le nombre de fours que par leur capacité.

Comme le four à haute fréquence est avant tout un simple moyen de fusion, c'est-à-dire qu'il y est peu pratique d'y faire, d'une manière industrielle, des opérations d'affinage telles que désulfuration ou déphosphoration, la qualité du métal produit dépend essentiellement des matières premières. Par contre, l'introduction du paramètre « vide » a ouvert de nouvelles perspectives au traitement métallurgique.

Les premiers fours de fusion à induction sous vide, tant de laboratoires que de dimensions industrielles, sont apparus dans la période 1925-1935. Malheureusement, les vides utilisés alors étaient gros-

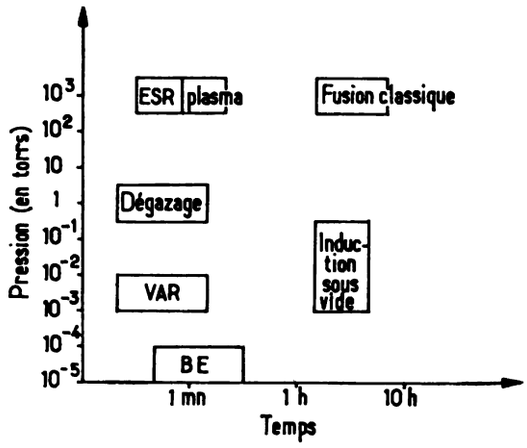


Figure 1.

siers par comparaison avec les normes actuelles si bien que l'amélioration des propriétés des métaux et alliages n'apparaissait pas toujours comme incontestable.

Deux éléments seront nécessaires pour que le développement du procédé de fusion par induction sous vide soit assuré : d'une part, l'impulsion fournie par les exigences de l'énergie atomique qui ont conduit à une progression rapide des pompes de forte puissance pour l'obtention de vides élevés ; d'autre part, la demande croissante d'aciers et de superalliages à hautes performances, nécessitée par l'avènement du moteur à réaction, dont les exigences amenèrent, dès 1950, à leur limite extrême les méthodes classiques d'élaboration à l'air. Depuis cette date, les développements et les progrès de la fusion par induction sous vide ont été continus. Citons les fours de 150 à 500 kg dans la période 1950-1953, 1 à 2,5 t de 1954 à 1958, fours de 6 t à partir de 1962, four de 30 t en 1964 de Latrobe Steel, conçu pour travailler en métal liquide, ainsi que le four de 30 t de Universal Cyclops, à charge solide en 1968.

Dans sa communication sur les fours modernes à induction sous vide, M. Bazanté de la Société Heurtey rappelle tout d'abord l'influence bien connue du vide sur le dégazage, la protection du métal liquide et l'élimination de certains métaux par évaporation. M. Bazanté souligne les différentes techniques qu'il faut maîtriser pour la conception et la réalisation de ce type de four, et notamment dans le domaine du vide et celui de l'induction. Après avoir rappelé la théorie du chauffage par induction, notamment en ce qui concerne l'effet de peau, le rendement électrique, l'importance de la puissance réactive, le brassage électromagnétique du bain qui augmente lorsque la fréquence diminue, M. Bazanté aborde la production des moyennes fréquences comprise entre 150 Hz et 10 000 Hz. Ces fréquences ont été jusqu'ici produites soit par des groupes convertisseurs tournants, de rendements compris entre 80 et 90 %, soit par convertisseurs statiques ; et il souligne le progrès technique constitué par l'onduleur statique. Cet appareil est composé de thyristors. Il donne, à partir d'un réseau 50 périodes triphasé, un courant alternatif pratiquement sinusoïdal, à oscillations entretenues et à une fréquence fonction des valeurs de la self du four et de la capacité des condensateurs, d'où une grande souplesse dans le choix de la fréquence et un rendement élevé d'environ 95 %.

M. Bazanté décrit ensuite l'équipement de la Société Latrobe Steel qui comporte, dans sa forme « thermal induction vacuum », un four à induction sous vide que l'on peut alimenter en charge liquide avec dégazage au jet ou en charge solide, et qui comporte, d'autre part, la coulée du métal en lingotière ou en poche sous vide ou à l'air. Ce procédé combine le dégazage avec le réchauffage par induction et permet d'effectuer des additions importantes. L'équipement comporte un four à induction interchangeable de capacités 7 t, 14 t et 27 t, et il est alimenté directement à la fréquence du réseau sous une puissance maximum de 2 400 kW. Les creusets sont constitués de briques réfractaires au corindon présentant une bonne résistance aux chocs thermiques pour le chargement en métal liquide. C'est, en quelque sorte, un outil universel très souple. Dans un procédé légèrement différent, appelé « air melting process under vacuum » et qui est équivalent au précédent, mais avec alimentation solide, on réduit les temps morts en séparant la chambre de fusion sous vide de la chambre de coulée sous vide par l'intermédiaire d'un sas et l'utilisation d'une poche. Cette séparation des opérations présente différents avantages, notamment sous l'angle du rapport capacité/investissement. Dans son texte, M. Bazanté souligne que le passage en poche facilite la décantation des inclusions. Il passe ensuite en revue les fours de capacité moyenne : 300 kg à quelques tonnes, sous l'angle du rapport performance/investissement, et en considérant les aspects technologiques avec l'utilisation de tunnels à lingotières et sas de chargement, avec également sas d'introduction des éléments d'alliages. Puis, avec les fours de petite capacité, M. Bazanté évoque les petits fours semi-continus à deux chambres, pour la coulée de précision, et les fours spéciaux, par exemple pour la fusion de l'uranium sous vide, avec coulée en moule ou coulée continue avec le procédé mis au point par la S.I.C.M.

Passons maintenant aux deux communications concernant les fours à plasma : l'équipe composée de MM. Yerouchalmi du C.E.A., Foex et Delmas du C.N.R.S. présente un four rotatif à température élevée, chauffé axialement par un plasma d'arcs transférés. La source de chauffage est formée de deux torches à plasma d'arc reliées par un circuit d'alimentation électrique dont l'effet est de constituer une colonne de plasma homogène et stable le long de l'axe du four. Le four orientable et inclinable est rotatif (vitesse de rotation : 50 à 500 tr/mn), ce qui produit une bonne homogénéisation du bain. Ce four est refroidi par une circulation d'eau intense et particulièrement bien adaptée au voisinage des plasmas. L'intérieur du four est rempli du matériau réfractaire à fondre et se comporte donc en auto-creuset. De ce fait, la masse fondue est exempte de toute pollution. D'autre part, avec les plasmas de gaz inerte, l'atmosphère du four est neutre et non contaminante. Les températures atteintes sont très élevées : 4 500 à 5 000°C dans la colonne de plasma. Ce type de four peut fonctionner de façon intermittente ou avec chargement et écoulement continu. Il est intéressant pour la recherche en laboratoire et l'industrie des hautes températures et il peut avoir des applications variées et nombreuses, notamment pour l'électrofusion d'oxydes réfractaires, de carbures, de borures, de nitrures, ainsi que l'électrofusion de métaux réfractaires comme le tantale, le niobium, le molybdène, le tungstène, le zirconium. Les auteurs donnent un exemple de fonctionnement dans le cas d'une fusion de zircone stabilisé à la chaux. Je signale au passage que M. Yerouchalmi se proposait de vous projeter un film en 8 mm standard, malheureusement ce film ne passe pas dans les équipements qui sont dans cette salle.

Dans sa communication, M. Hoshimoto présente un four inédit de fusion à plasma combiné à un chauffage par induction à basse fréquence. Le four le plus gros, d'une capacité acier de 500 kg, comporte une torche à plasma de 200 kW et un four à induction de 200 kW dont on a rendu étanches le trou de coulée et la voûte afin de réaliser une atmosphère protectrice d'argon. La torche à plasma, du type à transfert, avec une électrode inférieure en graphite, au contact du bain consomme environ 5 à 6 m^3 d'argon par heure. L'auteur a utilisé, comme garnissage du four, un pisé de magnésie. Ce type de four à plasma a une productivité plus grande que celle du four à induction mais, dans la conception du four, il faut tenir compte de l'interaction du plasma d'arc et du champ magnétique produit par la bobine d'induction. La fusion d'une charge de 500 kg dure 60 à 90 mn avec une consommation électrique de 750 à 900 kWh/t. Avec la protection de l'atmosphère inerte, le rendement des additions est bon et dépasse 95 % pour le titane, l'aluminium et le bore. On observe une vaporisation des impuretés : zinc, plomb, calcium, qui atteint presque les résultats du four à refusion sous vide. Pour les aciers classiques, la teneur en oxygène tombe à environ 20 ppm et l'hydrogène se situe vers 2 à 3 cm^3 par 100 grammes. On peut pratiquer un affinage métal-laitier accéléré en chauffant le laitier par le plasma et en profitant du brassage lié à l'induction. L'auteur cite des exemples de désulfuration, mais il ne nous dit pas quel genre de laitier a été utilisé dans ce but. L'acier qui est obtenu de cette façon présenterait un degré de pureté comparable à celui qui est obtenu au moyen d'une refusion dans un four à arc sous vide. Avec ce type de four, l'auteur a produit des aciers inoxydables (ferritiques et austénitiques) qui ont une teneur en carbone peu élevée de 6 à 12 millièmes, une faible teneur en oxygène, et qui ont une grande résistance mécanique et une résistance élevée à la corrosion intergranulaire (ce type de corrosion ne commence à faire son apparition qu'après mille heures de traitement de sensibilisation) et une très bonne ductilité. Cette méthode s'applique également aux alliages de cuivre, cuivre-titane, cuivre-fer, cuivre-nickel, cuivre-chrome et cuivre-zinc.

Maintenant, examinons les trois rapports relatifs aux fours à bombardement électronique.

Les rapports de MM. Fiedler et Scharf de VEB Qualitäts- und Edelstahl-Kombinat et de MM. Schiller, Lenk, Forster, de l'Institut Manfred von Ardenne concernent les résultats d'exploitation de fours à plusieurs chambres, avec un dispositif de faisceau électronique de 200 kW ou de 1 200 kW au sujet desquels ils ont acquis maintenant une expérience de dix années. Tout d'abord, les auteurs rappellent les conditions que doivent remplir les canons électroniques : durée d'utilisation des cathodes d'au moins 100 h, et surtout protection de l'émission du faisceau contre les formations d'étincelles et les remontées de pression jusqu'à 10^{-2} mm liées à des dégagements soudains de gaz, d'où le besoin de tubes à plusieurs chambres.

Le four de 200 kW peut fondre des lingots d'un poids maximum d'une tonne, et le four de 1 200 kW peut aller jusqu'à 18 t. Les auteurs soulignent le fait que, pour obtenir une structure dendritique fine, il faut rechercher un profil de bain plat et adapter la vitesse de fusion de chaque alliage à l'étendue de son palier de solidification. De la sorte, le procédé d'affinage permet une réduction de la teneur en gaz, oxydes, sulfures, nitrures et carbures. Il faut, cependant, éviter l'effet des tensions de vapeur et compenser 60 ou 80 % du manganèse et du cuivre et 10 % de chrome, tout en éliminant les traces de certains éléments, comme le plomb, le bismuth, l'arsenic, l'antimoine, etc. Les matériaux dont la refusion a été effectuée à l'aide du faisceau électronique ont de meilleures qualités d'isotropie et de ductilité. Enfin, les auteurs soulignent l'intérêt de ce four à faisceau électronique pour la refusion des déchets de métaux réactifs, à point de fusion élevé, en utilisant simultanément plusieurs tubes.

Le rapport de MM. Stojsic, Cvetanovic et de Mme Tufegozic concerne les modifications de la composition chimique et des propriétés de l'acier à roulements 100 C 6 après refusion. Cette refusion élimine 75 % de la teneur en oxygène, jusqu'à 85 % de la teneur en azote, 94 % de la teneur en hydrogène par rapport à l'acier initial de base. Il n'y a pas de changement en ce qui concerne les composants de carbone, de chrome et de phosphore. Les pertes de manganèse atteignent 70 à 83 %. De la même façon, il y a une réduction assez sensible de la teneur de soufre et des sulfures de manganèse. La propreté du métal est très bonne. La diminution de trempabilité, qui est liée à la perte du manganèse, est importante, et il serait nécessaire de la compenser dans l'électrode initiale. Par ailleurs, les auteurs soulignent qu'il y a une augmentation de la limite d'élasticité ou d'allongement du métal après refusion par faisceau électronique et aussi une meilleure plasticité. Ils attribuent ceci à la diminution importante et à la répartition plus uniforme des inclusions.

Le rapport de MM. Stephan et Dietrich, de la Société Leybold-Heraeus, concerne principalement l'application des fours à bombardement électronique à la mise au point de pièces moulées en titane. L'électrode consommable, tournante, est verticale et elle s'éclipse lorsque le creuset pivote pour remplir le moule. Par des essais de coulabilité du titane, les auteurs montrent l'intérêt des moules en graphite par opposition aux moules en acier, et également l'intérêt

d'un préchauffage des moules à 200°C. La résistance à la traction et la limite élastique des pièces moulées en titane s'accroît lorsque le diamètre des pièces diminue. Nous notons également que la refusion diminue les teneurs en oxygène, azote et fer. Les auteurs présentent ensuite un four industriel de 200 kW où la fusion et la coulée de pièces de 12 kg durent 30 mn avec préchauffage du moule de graphite jusqu'à 1 100°C et une surchauffe de 30 à 50°C. Avec une puissance plus élevée, de 3 à 400 kW, les auteurs espèrent obtenir une meilleure surchauffe qu'avec celui-ci, c'est-à-dire d'environ 100°C.

M. Combeau, Président du Comité Français d'Electrothermie, a alors conclu les travaux du colloque en remerciant les conférenciers, les rapporteurs, les personnes ayant participé aux discussions et les organisateurs du colloque, et tout particulièrement M. Daublain, Secrétaire Général du C.F.E.

application des études par similitude à la recherche en sidérurgie

Paul Rocquet
Directeur Général de l'Exploitation Métallurgique et des Recherches, Groupe Wendel-Sidelor (Florange)

Conférence prononcée devant l'Assemblée générale de la Société Française de Métallurgie le 26 janvier 1972.

Lord Rayleigh, il y a environ 60 ans, écrivait : « J'ai souvent été surpris du peu d'attention qu'accordent les physiciens même éminents au grand principe de similitude ».

Le principe de similitude constitue une importante méthode d'investigation de la technique des procédés tant du point de vue scientifique que du point de vue pratique. Il permet l'utilisation de maquettes, ce qui correspond à l'orientation d'esprit de l'ingénieur surtout préoccupé d'applications pratiques.

La construction de navires est à l'origine du principe de similitude et l'utilise déjà depuis longtemps, avec beaucoup de succès. Il est devenu courant d'employer des méthodes de similitude dans l'étude de l'écoulement des fluides.

Il semble qu'en sidérurgie, très peu de chercheurs et d'ingénieurs se soient intéressés à l'utilisation de ces principes alors que le génie chimique, qui lui est bien voisin, en fait grand usage.

Ce qui caractérise la recherche en sidérurgie, c'est la nature du métal à étudier. Le fer a un point de fusion élevé, ce qui rend l'expérimentation difficile et coûteuse dans le domaine des procédés d'élaboration ; aussi les chercheurs se réfugient-ils souvent dans les études du métal à l'état solide telles que : métallographie, traitement thermique, etc.

Depuis une dizaine d'années, nous avons développé au Laboratoire de Recherche de Sollac l'étude des phénomènes intervenant dans l'élaboration de l'acier par l'emploi des méthodes de similitude en utilisant des modèles froids. Ces modèles ou maquettes ne sont pas chers et peuvent se prêter à des essais dans des conditions extrêmement variées.

Les relations entre le comportement du modèle et l'appareil réel sont caractérisées par une série de nombres sans dimensions dont le choix et le nombre dépendent du nombre de variables indépendantes.

Il est parfois difficile, dans ces questions sidérurgiques, de reproduire sur les modèles les mêmes valeurs des nombres sans dimensions que sur l'appareil en vraie grandeur, mais on peut s'en approcher ou vérifier que dans une gamme étendue de valeurs de ces nombres, une certaine loi est toujours valable.

ÉTUDE DU TRANSFERT DE MASSE LORS DE L'ÉLABORATION DE L'ACIER DANS UN FOUR KALDO

Nous en avons fait une première application pour étudier le transfert de masses entre laitier et métal

lors de l'adoption par notre Société du procédé Kaldo (1).

Il s'agissait de savoir si passant d'un four de 26 t à un four de 120 t, la durée des échanges entre laitier et métal en serait affectée.

Par des expériences à la température ambiante, nous avons essayé d'obtenir des résultats applicables à la cinétique de l'affinage. Etant donné que dans ce processus, comme l'a montré Darken (2), la vitesse de transport des constituants à l'interface représente le mécanisme le plus lent, peu importait que la réaction chimique ne soit pas la même, pourvu qu'elle soit rapide.

En particulier dans le procédé Kaldo, les vitesses d'affinage sont limitées par des phénomènes de diffusion, car l'expérience montre qu'elles dépendent très nettement de la vitesse de rotation de l'engin, donc de l'agitation produite.

Dans cette étude, nous avons cherché à connaître l'influence des facteurs de turbulence sur les vitesses de transfert de masse entre deux phases liquides non miscibles contenues dans une enceinte tournante, en nous plaçant dans des conditions géométriques, mécaniques et physiques telles que les résultats ainsi trouvés soient le plus possible applicables à la connaissance de l'influence de ces facteurs sur les vitesses d'affinage dans le procédé Kaldo d'élaboration de l'acier.

Choix des systèmes utilisés.

Nous avons choisi comme liquides non miscibles l'eau et le mercure ou l'eau et un solvant organique.

Un travail de Russel et Evans (3) sur l'oxydation des métaux dissous dans le mercure à l'aide de solutions aqueuses oxydantes nous a permis d'utiliser ce système. Par exemple, le cadmium dissous dans le mercure cède des électrons à l'ion ferrique dissous dans l'eau pour donner un sel de cadmium soluble avec réduction de l'ion ferrique à l'état ferreux. Si on utilise le nitrate ferrique en solution en milieu nitrique la phase aqueuse se maintient à une teneur pratiquement constante en Fe^{3+} par réoxydation du Fe^{2+} formé.

La fin du passage du cadmium dans la phase aqueuse est facilement repérée par le saut de potentiel important lors de la mesure du potentiel du mercure par rapport à la solution aqueuse. Cette réaction ressemble beaucoup au passage du manganèse de l'acier dans le laitier.

Pour encadrer les valeurs du rapport des densités de la scorie et de l'acier, un deuxième système devait être choisi. Nous avons pris la chaux en solution très diluée dans l'eau et l'acide oléique dissous dans le xylène.

La mesure des temps de neutralisation s mesure de la vitesse de transfert. L'étude éta sur des maquettes homothétiques du four Ka trois tailles dont le diamètre de la partie cylin était de 232 mm (1/15), 151 mm et 115 mm (1/

Ces maquettes étaient fixées sur un bâ mettant leur rotation à vitesse variable j 300 tr/mn, l'axe de rotation faisant un angle sur l'horizontale comme dans le four Kaldo.

Recherche de l'expression mathématiqu phénomènes.

L'équation de transfert de masses entre phases liquides peut s'écrire (4) :

$$Vi = A \frac{Cim - Cis}{\delta i} Di$$

Vi vitesse de transfert du constituant i à trave terface de surface A, si Di est son coefficie diffusion, Cis et Cim ses concentrations resp ment à l'interface et dans la masse de la phase l et δi l'épaisseur moyenne d'une couche lim voisinage de l'interface où le gradient de conc tion du constituant i est bien plus élevé que d masse.

Nous chercherons à ce que la vitesse de tra d'un seul constituant limite le phénomène pour ramener au cas le plus simple.

Si ce constituant est contenu dans la pha volume V, on peut écrire :

$$V \frac{d.Cim}{dt} = - A \frac{Cim - Cis}{\delta i} Di$$

Pour une réaction où la concentration de i de Cim_1 à Cim_2, le temps T nécessaire est é

$$T = V \frac{\delta i}{A} \times \frac{1}{Di} \times \int_{Cim_2}^{Cim_1} \frac{d\,Cim}{Cim - Cis}$$

L'équation [3] n'explicite pas les facteurs d bulence qui interviennent par l'intermédiaire de L'analyse dimensionnelle permet d'exprimer ce teurs sous forme de nombres sans dimensions.

On peut montrer que les nombres sans dimer intervenant dans les phénomènes étudiés sont par l'expression :

$$\frac{\delta i}{A} L = f\left(\frac{NL^2}{V_1}, \frac{N^2L}{g}, \frac{N^2L^3 \rho_1}{\sigma}, \frac{\nu_1}{\nu_2}, \cdot\right.$$

où L dimension de l'enceinte,

N vitesse de rotation,

ρ_1 et ρ_2 densités des liquides,

ν_1 et ν_2 viscosités cinématiques,

σ tension interfaciale.

Cette équation met en évidence les :

— 2e nombre de Nüsselt : $Nu_2 = \frac{A}{\delta i} L$

— nombre de Reynolds : $Re = \frac{NL^2}{\nu_1}$

— nombre de Froude : $Fr = \frac{N^2L}{g}$

— nombre de Weber : $We = \frac{N^2L^3 \rho_1}{\sigma}$

L'équation [3] devient en tenant compte de [4] :

$$T = \frac{V}{L}\left[f\left(\frac{NL^2}{V_1} \; \frac{N^2L}{g} \; \frac{N^2L^3{}_1}{\sigma} \; \frac{\nu_1}{\nu_2} \; \frac{\rho_1}{\rho_2} \right)\right] \times \frac{1}{Di_1} \int_{(Cim)_2}^{(Cim)_1} \frac{d\,Cim}{Cim - Cis} \qquad [5]$$

Si ces nombres sans dimensions sont du même ordre de grandeur dans le four d'aciérie et dans le modèle froid, l'équation [5] aura la même forme dans les deux cas.

La turbulence dans une enceinte tournante peut être fonction de cinq nombres sans dimensions. Il aurait été souhaitable d'étudier séparément et dans un domaine recouvrant les valeurs de ces nombres pour le système métal-laitier l'influence de ces cinq nombres, mais étant donné que ceci était pratiquement impossible à réaliser, nous avons commencé par étudier les facteurs les plus faciles à faire varier : la vitesse de rotation et la dimension de la maquette. L'étude des facteurs viscosité et tension interfaciale ne sera abordée qu'ensuite.

Influence de la vitesse de rotation et de la taille de la maquette.

Les résultats obtenus pour le premier système solution aqueuse oxydante-amalgame de cadmium sont représentés sur la *figure 1*. On remarque que tous les résultats expérimentaux en coordonnées logarithmiques sont sur une même droite. Il en est de même à très peu près avec le deuxième système : solution de chaux et acide oléique dans le xylène ; les points s'alignent de la même façon.

La durée de la réaction est de la forme :

$T = K_1 N^{-1,1}$ dans le premier système

et $T = K_2 N^{-1,1} L^{0,2}$ dans le second.

Influence de la viscosité et tension interfaciale.

Nous avons essayé d'obtenir d'importantes variations de la viscosité de la solution aqueuse oxydante par une addition importante de sucre. Ces solutions ont la propriété de ne pas suivre la loi de Sutherland

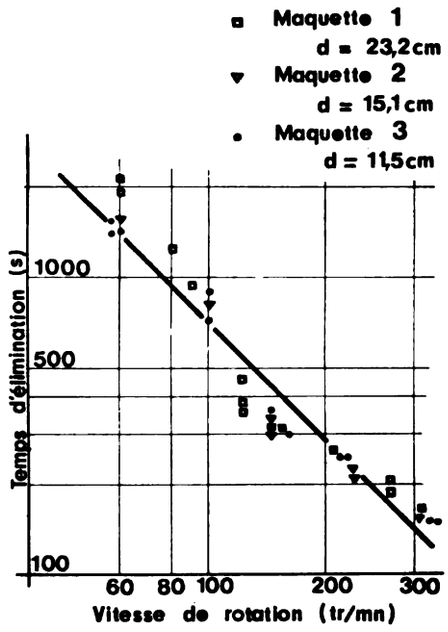


Figure 1. — Influence de la vitesse de rotation sur le temps d'élimination. Maquettes Kaldo.

$D \cdot \mu$ = Cte (5). Dans le domaine de variation de 1 à 60 cp, les variations du coefficient de diffusion sont très faibles ainsi que nous avons pu le vérifier.

Le temps de réaction varie de 1 à 3 quand la viscosité cinématique ν passe de 1,07 à 37 centistokes et on peut traduire nos résultats par :

$$T = K'_1 N^{-1,1} \nu^{0,3}$$

Des variations importantes de la tension superficielle ont été obtenues par addition d'agent tensioactif dans le système solution de chaux-acide oléique dans le xylène. Lorsque la tension interfaciale passe de 14,5 à 5,5 dynes/cm, le temps de réaction passe de 1 à 0,62. On peut donc représenter ces résultats par l'équation suivante :

$$T = K'_2 N^{-1,1} L^{0,2} \sigma^{0,45}$$

Application des résultats de l'étude sur modèle froid à l'élaboration de l'acier.

Comme nous l'avons déjà indiqué, il découle du principe de similitude que la forme de la fonction f dans l'équation [5] sera la même pour le four d'aciérie et le modèle froid si les nombres sans dimensions intervenant dans les phénomènes considérés sont du même ordre de grandeur. Or, nous voyons dans le *tableau I* que ceci est pratiquement obtenu pour les cinq nombres sans dimensions considérés.

TABLEAU I : Comparaison des différents nombres sans dimensions.

Nombres sans dimensions	Maquettes Kaldo				Fours Kaldo	
	Solution nitrique de nitrate ferrique	Amalgame de cadmium	Acide oléique dans xylène	Solution aqueuse de chaux	Laitier	Métal
Nombre de Reynolds : NL^2/ν	285 à 254 000	$1,2 \times 10^5$ à $24,6 \times 10^5$	$9,2 \times 10^2$ à 114×10^3	$7,3 \times 10^3$ à 90×10^3	26 t : 21×10^3 120 t : $50,5 \times 10^3$	26 t : $8,9 \times 10^6$ 120 t : $21,2 \times 10^6$
Nombre de Froude : $N^2 L/g$	$1,17 \times 10^{-2}$ à $58,6 \times 10^{-2}$		$0,4 \times 10^{-2}$ à $3,3 \times 10^{-2}$		26 t : $5,12 \times 10^{-2}$ 120 t : $7,95 \times 10^{-2}$	
Nombre de Weber : $\rho N^2 L^3/\sigma$	4,37 à 874	54,6 à 10 900	30 à 4 900	35 à 5 700	26 t : 5 100 120 t : 19 100	26 t : 14 500 120 t : 54 500
Rapport des viscosités cinématiques : ν_1/ν_2	9,95 à 335		0,79		425	
Rapport des densités : ρ_1/ρ_2	0,08		0,86		0,35	

De plus, de nos essais sur modèle froid, nous pouvons déduire une relation de la forme :

$$T = K\, N^a\, L^b\, \nu^c\, \sigma^d$$

avec $a = -1,1 \quad 0 \leqslant b \leqslant 0,2 \quad c = 0,3 \quad d = 0,45$

On peut alors facilement montrer que ces résultats sont compatibles avec l'expression [5] du temps d'opération si on prend pour fonction f le produit :

$$\left(\frac{NL^2}{\nu\ 1}\right)^{-0,3} \times \left(\frac{N^2L^3\ \rho}{\sigma}\right)^{-0,4}$$

c'est-à-dire le produit des nombres de Reynolds et de Weber respectivement à la puissance -0,3 et -0,4.

L'expression de la durée du transfert de masse en fonction de la dimension du four montre que celle-ci n'a pas d'influence sur le temps d'élaboration. Nos résultats ont été pleinement confirmés par la pratique industrielle puisque le temps d'affinage du four de Sollac comme de celui plus gros de Sacilor est pratiquement le même que celui du petit four de Domnarvet. Tout se passe comme si la diminution du rapport A/V = 1/L se trouve compensée par une augmentation de turbulence proportionnelle à la vitesse périphérique NL.

Ces études sur modèles froids concernant l'affinage au four Kaldo se sont poursuivies par une étude sur la forme des lances, la forme du jet d'oxygène et la répartition entre oxygène diffusant directement dans le bain et oxygène participant à la combustion du CO formé.

L'oxygène était alors représenté par de l'acide chlorhydrique gazeux et le bain de métal par une solution de carbonate de soude.

Ce travail s'est montré très fructueux car il est évident que la vitesse d'élaboration ne sera indépendante de la dimension du four que si le transfert d'oxygène au bain est augmenté proportionnellement au volume du four.

ÉTUDE, A L'AIDE D'UN MODÈLE FROID, DE L'EFFERVESCENCE LORS DE LA SOLIDIFICATION DE L'ACIER

Le lingot d'acier effervescent possède une peau très saine suivie d'une zone de soufflures primaires. On a beaucoup discuté depuis une quarantaine d'années sur leurs conditions de formation. Le lingot d'acier effervescent peut être sujet à un grave défaut : ce sont de petites soufflures près de la peau quelquefois appelées piqûres. Leur présence a fait achopper la coulée continue d'acier effervescent. C'est pour étudier la formation de ces piqûres que

nous nous sommes encore adressés à la similitude sur modèle froid.

La structure de l'acier effervescent résulte de la compétition entre la progression du front de solidification et le dégagement de bulles de gaz. Nous nous sommes proposés de représenter les différentes structures du lingot d'acier effervescent au moyen d'un liquide transparent permettant l'observation facile de la solidification et du dégagement gazeux.

On peut estimer que dans le lingot d'acier effervescent la vitesse d'avancement du front de solidification est de 2 cm/mn et celle du dégagement de CO au début de l'effervescence de 0,06 cm^3 par cm^3 d'acier liquide par minute. Or, nous avons constaté que dans des conditions expérimentales convenables (6) on pouvait obtenir avec de l'eau contenant du CO_2 en solution, une vitesse de progression de l'interface eau-glace de 2 cm/h et un dégagement de CO_2 par cm^3 d'eau égal en une heure à celui du CO dans l'acier en une minute. Nous pouvons donc espérer que les phénomènes se déroulant en une heure dans notre petit lingot de glace seront semblables à ce qui se passe en une minute dans l'acier.

Comme l'a montré von Bogdandy (7), la cinétique du grossissement de bulles de CO dans l'acier fait intervenir les phénomènes de diffusion ; il fallait, afin d'avoir une similitude complète, obtenir pour le deuxième nombre de Nüsselt servant à caractériser ces phénomènes une valeur pour notre modèle froid du même ordre que celle trouvée pour l'acier.

Le calcul à partir de l'expression de ce nombre de Nüsselt :

$$Nu_2 = \frac{2\,R\left(\frac{\Delta m}{\Delta t}\right)}{\Delta c.\,F.\,D}$$

R : rayon de la bulle

Δm : quantité de matière transférée pendant la formation de la bulle

Δt : temps de formation de la bulle

Δc : différence de concentration dans la couche limite

F : surface de la bulle

D : coefficient de diffusion

montre que les deux valeurs sont du même ordre de grandeur ; leur rapport est :

$$\frac{Nu_2\ (eau)}{Nu_2\ (acier)} = 0{,}4 \text{ environ}$$

L'appareillage est constitué par une petite lingotière méplate dont les parois étroites sont en cuivre et les grandes faces en verre épais. Au moyen d'une trompe à eau et un robinet de fuite, on peut maintenir au-dessus du liquide une dépression réglable dans la lingotière. Celle-ci plonge dans un bain de toluène muni d'un thermostat et le tout est mis dans un mélange réfrigérant de neige carbonique et d'acétone.

Nous pouvons donc faire varier d'une part la vitesse de solidification et d'autre part l'intensité du dégagement gazeux en modifiant la pression au-dessus du liquide. On obtient de petits lingots de glace très semblables aux lingots d'acier effervescent (fig. 2 et 3).

L'expérience nous a permis d'observer le mécanisme de formation d'une soufflure (*). Dans l'eau, la soufflure ne commence à se former qu'après qu'une pellicule de glace se soit solidifiée sur la paroi.

Dans le cas d'une effervescence normale, la bulle en formation se trouve peu à peu prise dans la glace, mais elle grossit suffisamment vite en avant du front de solidification pour se détacher ou être balayée par une bulle venant d'un niveau inférieur. Lorsque la bulle s'échappe, elle laisse une cavité qui n'a pas été vidée complètement du gaz qu'elle contenait et la bulle résiduelle va de nouveau grossir mais la solidification en progressant a tendance à refermer l'orifice de cette cavité. La bulle en augmentant de volume dépasse cet orifice et s'échappe à nouveau. C'est ce début de fermeture qui donne aux soufflures leur forme annelée si caractéristique.

Avec une forte effervescence, le dégagement des bulles peut devenir bien plus rapide que l'avance du front de solidification et empêcher ainsi la formation de soufflures au point qu'il n'en existe presque plus dans le lingot de glace. Avec une effervescence lente au contraire, les bulles grossissent à la même vitesse que l'avance du front de solidification et non seulement restent emprisonnées, mais de plus ont tendance à présenter l'aspect tubulaire observé dans les lingots d'acier insuffisamment calmés. La *figure 4* montre les différents aspects que l'on peut obtenir en faisant varier la vitesse de solidification et le dégagement gazeux.

Effet d'un agent tensio-actif.

On sait que lorsqu'on ajoute dans l'eau un agent tensio-actif, même en très petites quantités, celui-ci forme un film sur toute l'interface liquide-gaz. Il a de plus été montré que ce film gêne les échanges gaz-liquide et diminue nettement, par exemple, la vitesse de dissolution d'un gaz dans le liquide. Inversement les bulles de CO_2 grossissent dans ce cas moins vite.

Nous avons constaté que la présence de 1 à 5 ppm d'un agent tensio-actif dans la solution aqueuse de

(*) Lors de la conférence faisant l'objet de cette publication, un film représentant ces phénomènes a été présenté.

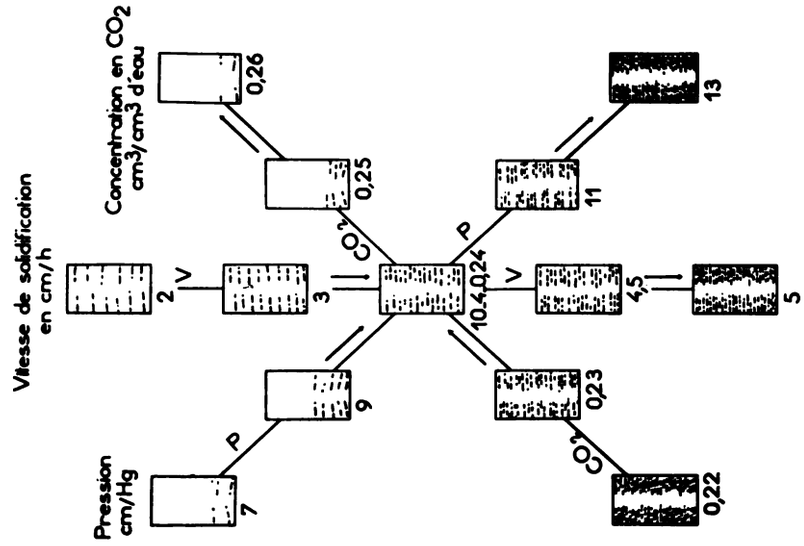


Figure 4. — Aspect schématique de lingots de glace solidifiée dans différentes conditions.

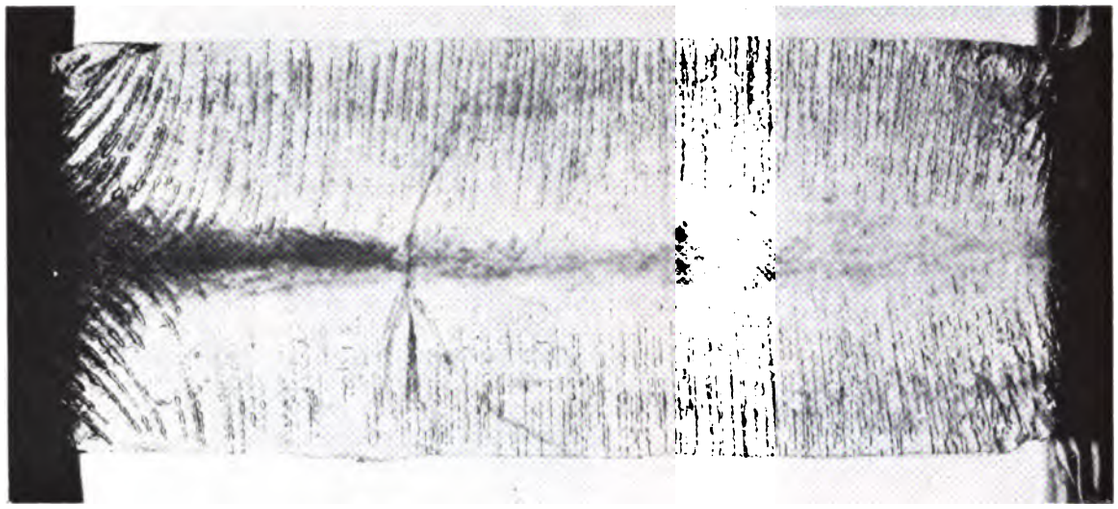


Figure 3. — Effervescence faible.

Figure 2. — Effervescence forte.

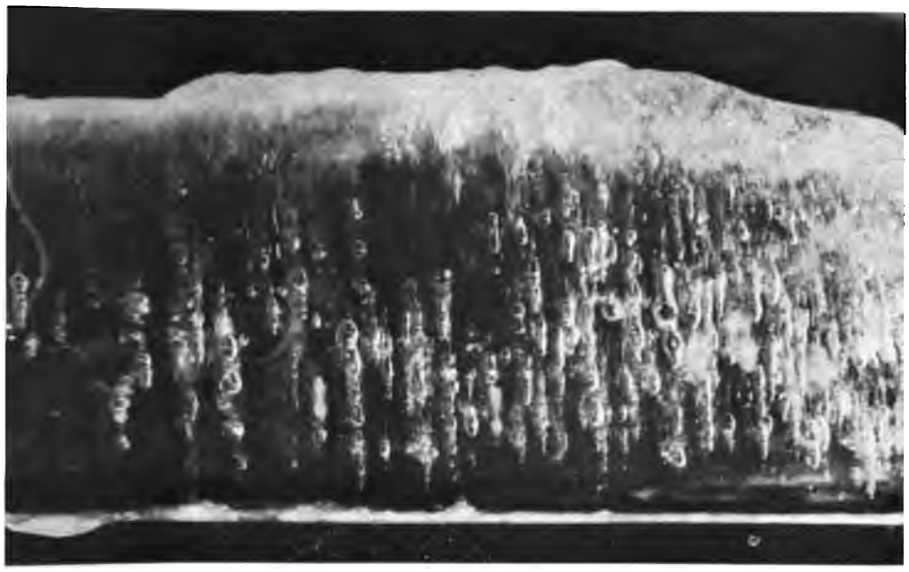


Figure 7. — Soufflage d'air sur la paroi opposée à celle représentée sur cette figure.

Figure 6. — Effet de l'addition de 2,5 ppm d'agent tensio-actif.

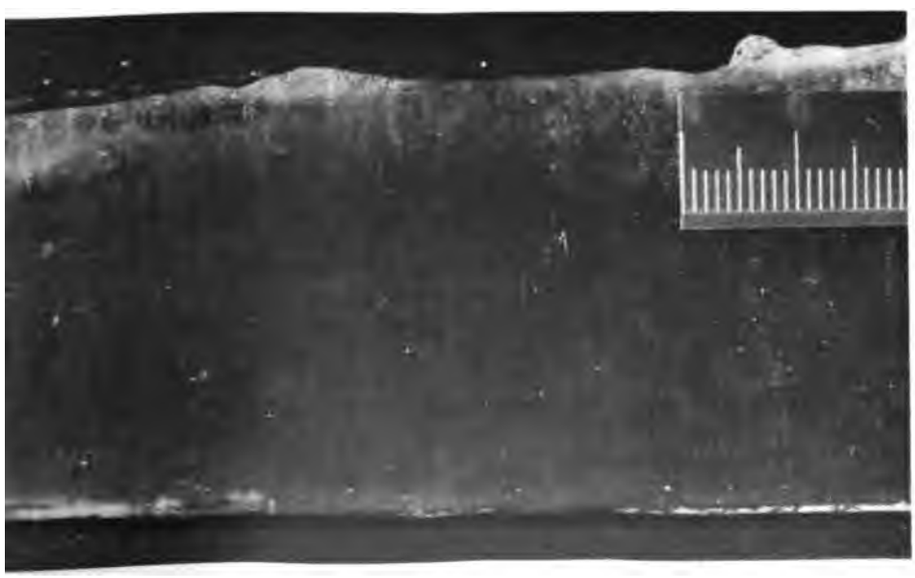


Figure 5. — Lingot témoin.

TABLEAU II : *Influence de la teneur en carbone et d'additions d'aluminium sur les porosités de surface.*

Al (g)	C . 10³ Four	C . 10³ Lingot.	Mn . 10³ Four	Mn . 10³ Lingot.	Quantités de porosités de surface				
					4	3	2	1	0
	117	101	520	470					X
	110	87	530	430					X
	103	73	525	425					X
	96	82	540	480					X
	85	57	415	355			X		
	82	47	390	320					X
	82	57	370	335		X			
	80	57	405	345		X			
	72	48	380	340				X	
	66	41	335	295		X			
	65	39	330	250	X				
	63	43	190	195	X				
	48	31	240	210		X			
	42	30	240	220					X
	38	29	170	175	X				
	25	26	170	180	X				
2	70	59	395	345					X
2	69	59	355	305				X	
1	74	46	325	275					X
1	72	42	350	275					X
0,5	69	50	335	310				X	
0,5	57	38	305	275				X	

CO_2 diminue la vitesse de dégagement de ce gaz de la même manière que si on augmentait la pression au-dessus du liquide (fig. 5 et 6). On peut remarquer de plus par examen à fort grossissement qu'en présence d'agent tensio-actif chaque bulle est entourée d'une galaxie de bulles très petites qui n'ont pu se développer.

Or nous savons depuis les travaux d'Elliot et Pehlke (8) et de Kozakevitch et Urbain (9) que l'oxygène se comporte dans l'acier liquide comme un véritable agent tensio-actif et ralentit beaucoup les échanges gaz-métal. D'après ces derniers auteurs, dès que le fer liquide contient plus de 0,02 % d'oxygène, la surface du métal pourrait être entièrement recouverte de FeO. On peut donc penser qu'une augmentation de l'activité en oxygène de l'a entraîne la formation de plus nombreuses souffl de peau.

On est amené à se demander si les variations quantités d'oxygène dans le métal entrant dans lingotière ne sont pas liées à l'oxydation du jet ver de la poche et aux quantités d'air entraîné par celu Mais nous avons aussi pensé que cet air entr avait un effet supplémentaire sur la germination bulles et l'extraction du CO.

Sur le modèle froid, nous avons examiné l'e de l'air entraîné. On peut estimer, d'après les mes faites à l'IRSID (10), que la quantité d'air entr par le jet d'acier dans la lingotière est de 0,24

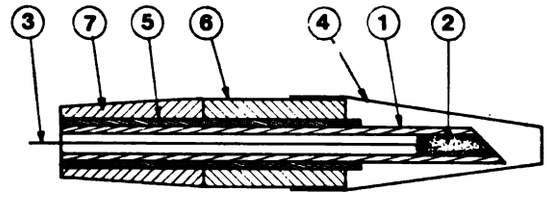
d'air par litre d'acier pour les deux minutes que dure la coulée. Ceci correspond pour notre modèle à 0,12 litre par heure, soit 2 cm^3/mn. Compte tenu des petites dimensions de notre lingot de glace, nous avons soufflé cet air sur une des parois de la lingotière et observé ce qui se passait sur la paroi opposée distante de 120 mm.

Dans les mêmes conditions de solidification qui donnaient une effervescence énergique avec absence de soufflure dans le lingot de glace, nous avons réalisé le soufflage d'air comme indiqué ci-dessus et observé sur la paroi opposée une effervescence faible caractérisée par la présence de nombreuses soufflures (fig. 7).

Comme cause de formation de piqûres de peau, on peut retenir non seulement l'absorption d'oxygène par le jet et son effet tensio-actif mais aussi que l'air entrainé par le jet favorise à l'impact du jet arrivant dans la lingotière le dégagement de CO au détriment de celui qui se forme sur le front de solification.

Tous ces phénomènes ont été vérifiés sur de petits lingots d'acier d'une douzaine de kilos coulés en laboratoire où nous avons pu observer la présence dans la première couche solidifiée de soufflures à la peau. Le *tableau II* relate ces observations montrant la très nette fréquence de piqûres de peau lorsque la teneur en carbone de l'acier coulé est diminuée et la correction de cet effet par de petites additions d'aluminium.

Nous avons aussi à l'impact du jet dans la lingotière, établi un barbotage d'azote ; on observait une augmentation de la quantité de porosité de surface, laquelle était beaucoup plus nette lors d'un barbotage d'oxygène.



1 Tube de silice
2 Bouchon de zircone
3 Fil de platine rhodie
4 Gaine fusible
5 Tube d'acier
6 Sillimanite
7 Graphite

Figure 8. — Cellule à électrolyte solide de Sollac.

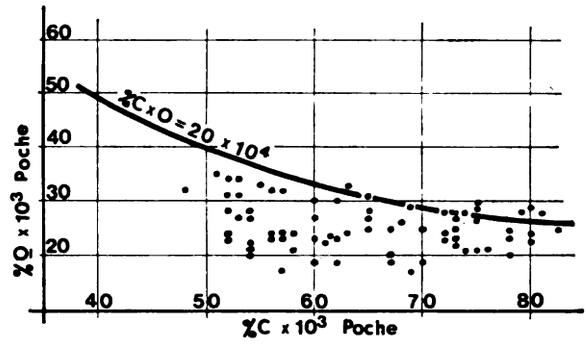


Figure 9. — Relation entre les teneurs en carbone et en oxygène dissous en poche.

ÉTUDE DE L'ABSORPTION D'OXYGÈNE ENTRE POCHE ET LINGOTIÈRE

Il apparaissait après cette mise en évidence du rôle très important de l'effet tensio-actif de l'oxygène sur l'effervescence des aciers extra-doux la nécessité, d'une part, d'une méthode de mesure de l'oxygène dissous dans l'acier au lieu de l'oxygène total mesuré par voie chimique et, d'autre part, d'une étude de l'absorption d'oxygène par l'acier lors de sa coulée en lingotière.

Mesure de l'absorption d'oxygène avec une cellule à électrolyte solide.

Nous avons réalisé à Sollac une cellule que nous utilisons depuis plus de quatre ans pour mesurer l'oxygène dissous dans l'acier ; cette cellule fait l'objet du brevet français 1.591.755. L'électrolyte solide est la zircone stabilisée à la chaux. Le potentiel de référence d'oxygène est constitué par un mélange de CO et CO_2 à faible potentiel d'oxygène (pCO/pCO_2 = 10) (fig. 8). Cette cellule permet des mesures de l'activité en oxygène dans l'acier liquide avec une grande fiabilité.

Cette cellule nous a permis lors de mesures dans l'acier effervescent en poche et en lingotière de faire des constatations non encore signalées dans la littérature. Nous avons pu constater que malgré l'oxydation provoquée par le remplissage de la poche, l'activité mesurée en poche après addition du manganèse est souvent inférieure à celle qui correspondrait à l'équilibre carbone-oxygène à la même température (fig. 9). Lorsque cette valeur est très inférieure à cet équilibre, l'effervescence en lingotière est très bonne sans formation de mousse et démarre très franchement.

Ces teneurs basses en oxygène dissous ne sont pas révélées par le dosage chimique qui compte comme oxygène celui qui est lié au manganèse sous forme d'inclusions.

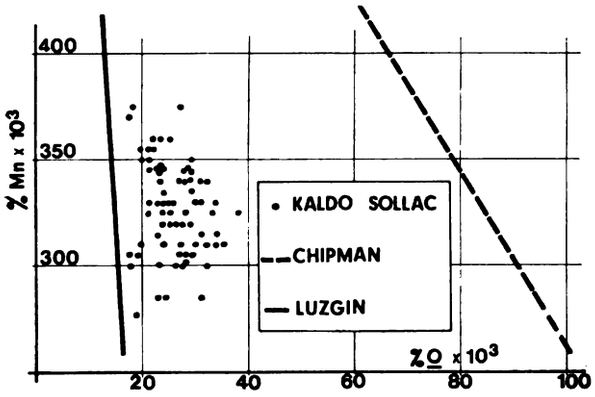


Figure 10. — Comparaison de la relation entre les teneurs en manganèse et en oxygène dissous en poche avec les résultats de Chefman et Lurgin.

Il faut admettre que la valeur de l'oxygène dissous en poche est déterminée pour les aciers effervescents extra-doux par les désoxydants ajoutés dans celle-ci. Ce point de vue semble cependant inadmissible si on considère l'équilibre manganèse-oxygène dans le fer liquide d'après les données classiques publiées par Chipman (11). Toutefois, une étude russe (12) a été effectuée en utilisant pour la première fois la mesure électrochimique d'oxygène dissous. Comme on peut le voir sur la *figure 10*, les résultats de cette étude expliquent les valeurs d'oxygène dissous observées dans nos mesures en poche.

On doit cependant faire remarquer que, dans la désoxydation en poche des aciers effervescents, interviennent à côté du manganèse, l'aluminium (avec des additions comprises en général entre 100 et 150 g/t) et le silicium contenu dans le ferro-manganèse utilisé. Or, différentes études (13) (14) ont montré qu'en présence de ces éléments désoxydants complémentaires, on obtenait des teneurs en oxygène nettement plus faibles qu'avec le manganèse seul, car l'activité de MnO dans les inclusions est diminuée. Cependant, il n'apparaît guère possible, compte tenu des résultats de ces études, d'expliquer quantitativement des valeurs d'oxygène dissous aussi faibles que celles trouvées en poche.

Enfin, il faut faire observer qu'il serait certainement nécessaire, pour bien comprendre ces phénomènes, de faire intervenir des considérations sur la cinétique de la formation des inclusions, car c'est notamment de ce côté que nous pensons qu'il faut chercher l'explication d'une moins grande réactivité du manganèse en lingotière.

La mesure de l'activité en oxygène en lingotière révèle, en effet, une reprise d'oxygène qui peut être telle que cette teneur augmente de 50 % par rapport à la teneur en poche (tabl. III).

TABLEAU III : Comparaison de l'oxygène dissous en poche et en lingotière.

% C 10^3	% O 10^3 Poche	% C×% O 10^4 Poche	% O 10^3 Lingot.	% C×% O 10^4 Lingot.
46	32	14,3	50	23,0
51	28	14,6	46	23,4
54	28	15,1	40	21,6
58	24	13,9	41	23,8
59	25	14,7	36	21,2
60	27	16,2	38	22,8
62	23	14,3	33	20,5
63	24	15,1	35	22,0
67	20	13,4	31	20,8
69	25	17,5	36	24,8
73	23	16,8	30	21,9
78	23	17,9	31	22,4

Choix d'un modèle froid pour l'étude de l'absorption d'oxygène entre poche et lingotière.

Cette reprise d'oxygène entre poche et lingotière nous a amenés à nous intéresser à l'étude, toujours au moyen de modèles froids, des différents facteurs qui interviennent.

La cinétique de cette absorption d'oxygène est régie par le transfert de masse dans la phase liquide qui dépend de la turbulence à l'interface air-métal. Ce processus physique peut être étudié sur modèle froid, si on respecte les conditions de similitude, c'est-à-dire si on respecte sur modèle les valeurs du nombre de Reynolds tel que le régime hydrodynamique soit le même qu'en aciérie et si les nombres de Froude et de Weber sont conservés.

Le nombre de Reynolds s'écrit $R = v\,D/\nu$ avec, dans ce cas, $V^2 = 2\,g\,H$ (V : vitesse d'écoulement du liquide, D : diamètre de la busette, ν : viscosité cinématique du liquide, H : hauteur de celui-ci dans la poche de coulée). Avec les poches de coulée de l'aciérie Sollac, R est, au moins, de l'ordre de 10^5 alors que le passage du régime laminaire au régime turbulent a lieu pour R inférieur à 10^4 ; de plus, le rapport des nombres de Reynolds en aciérie et sur un modèle froid utilisant de l'eau ou une solution aqueuse diluée s'écrit, si λ est le rapport de la similitude géométrique : $Ra/Rm = 1{,}25\ \lambda^{3/2}$. Or, on vient de voir qu'on restera en régime turbulent sur la maquette si Ra/Rm est inférieur à 10 ; on en déduit qu'il

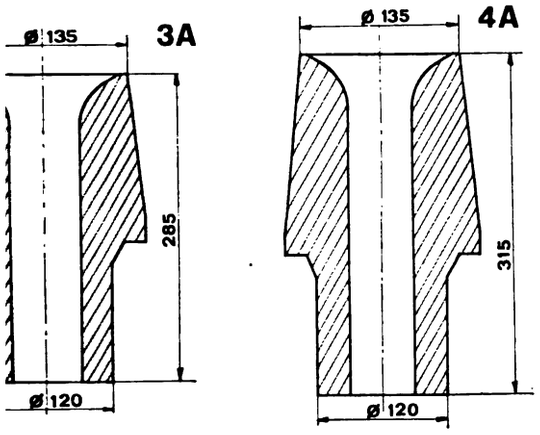


Figure 11. — Busettes 3 A et 4 A.

ı que les dimensions de maquette soient supé-
s au quart des dimensions réelles. Le nombre
roude a pour expression $F = V^2Dg$, comme
2g H, $F = 2H/D$; si la similitude géométrique
onservée, F l'est aussi. Le nombre de Weber a
expression : $W = \rho V^2 D/\sigma = \rho \times 2gH \times D/\sigma$,
ρ : masse spécifique et σ : tension superficielle.
ant que σ varie de 1 000 à 1 800 dynes/cm sui-
l'état d'oxydation de l'acier, on trouve, pour un
e simulateur avec les caractéristiques ρ_0 et σ_0,
ndition : $140\ \rho_0/\sigma_0 < \lambda^2 < 260\ \rho_0/\sigma_0$, qui devient
l'eau ou les solutions aqueuses diluées de corps
aux : $2 < \lambda^2 < 3{,}5$. On voit que cette dernière
tion de similitude est la plus restrictive, mais
respect n'est pas du tout incompatible avec
eux autres.

ompte tenu du respect de ces nombres sans
isions, nous utilisons au laboratoire une poche
rme cylindrique ayant un diamètre et une hau-
le 1 m. Les busettes utilisées sur cette maquette
à l'échelle 1/2 de celle de l'aciérie, de même
a lingotière.

s études sur maquette de la coulée en lingo-
précédemment effectuées, se contentaient le
souvent d'observations visuelles qualitatives sur
bulence du jet ; cependant, dans une étude de
D (10), on déterminait les volumes d'air entraînés
jet dans le liquide de la lingotière, mais, même
ce dernier cas, on ne pouvait guère espérer
itre, à partir des résultats observés, l'absorp-
éelle de gaz pendant la coulée en lingotière.

ous avons réalisé un modèle froid beaucoup plus
aisant *a priori*, par l'absorption de gaz carbo-
dans des solutions aqueuses de soude très
es. Il a déjà été montré (15) que la cinétique
tte absorption était également régie par des phé-
nes de transfert de masse dans la phase liquide
la forme de diffusion turbulente à l'interface gaz-
liquide, si on se place dans des conditions convenables de concentration (ici, mélange gazeux : 70 % N_2, 30 % CO_2 et solution de soude N/25).

L'aciérie Sollac utilise deux types de busette (3 A et 4 A) de diamètre compris, en général, entre 35 et 50 mm ; leurs formes sont indiquées par la *figure 11*. Ces deux types de busette font partie des neuf formats standard (1 A à 9 A) fixés, il y a quelques dizaines d'années, par le « VDEh » (Groupement des Aciéristes allemands) et utilisés dans beaucoup d'aciéries européennes.

Influence sur l'absorption de gaz du diamètre des busettes 3 A et 4 A.

A l'aide de notre modèle froid, nous avons d'abord examiné l'influence très discutée du diamètre de ces busettes sur l'absorption de gaz au cours de la coulée en lingotière.

Les essais ont été effectués avec des diamètres compris entre 12.5 et 40 mm sur la maquette, correspondant à une variation de 25 à 80 mm en aciérie. Sur les *figures 12* et *13* sont représentées les absorp-

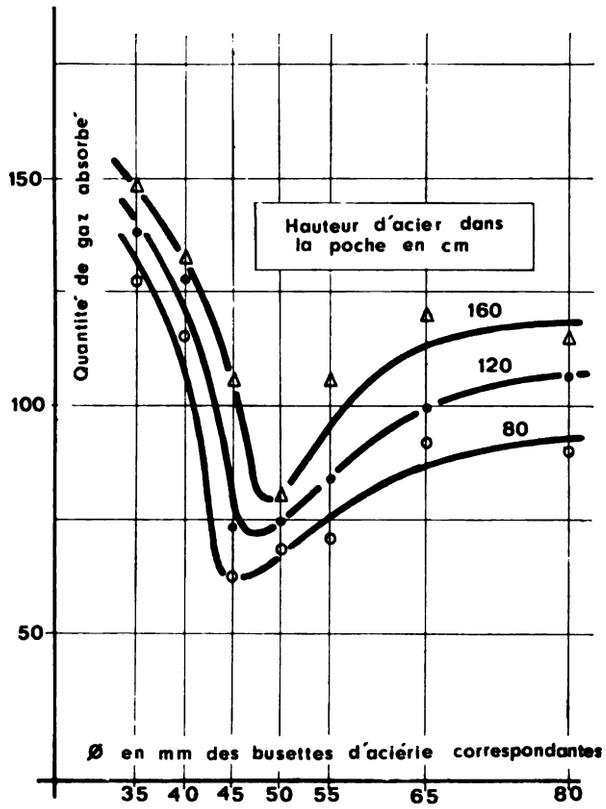


Figure 12. — Influence du diamètre d'une busette 3 A sur l'absorption de gaz.

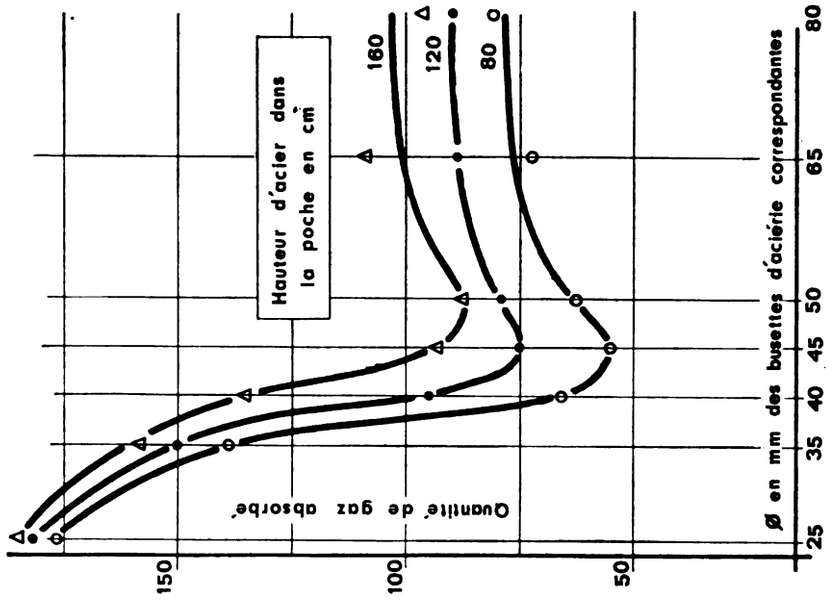


Figure 13. — Influence du diamètre d'une busette 4 A sur l'absorption de gaz.

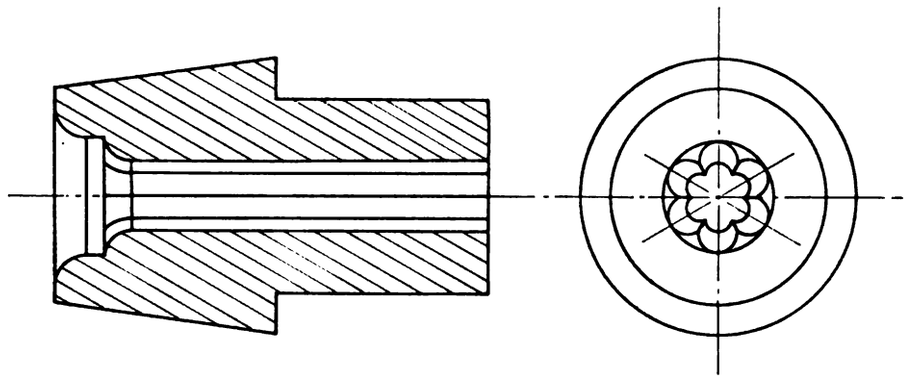


Figure 14. — Busette cannelée.

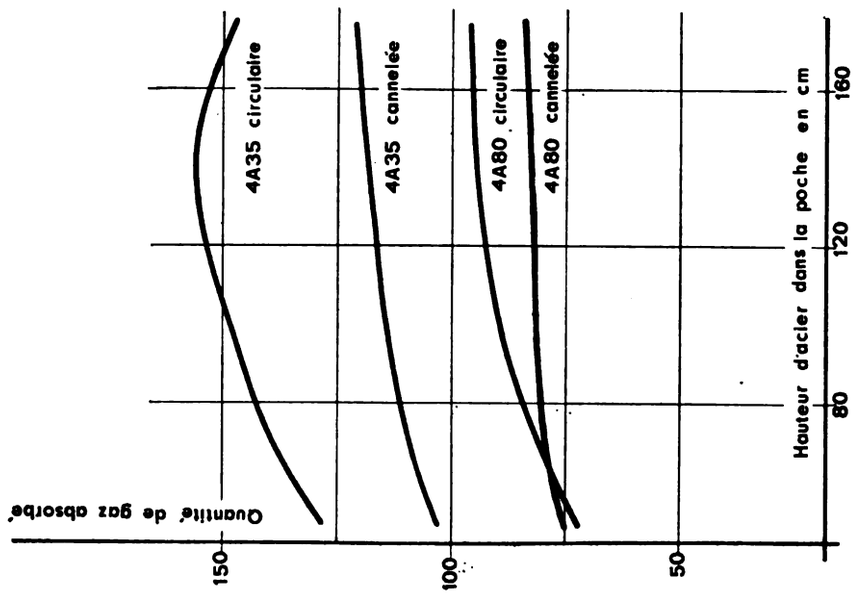


Figure 15. — Comparaison de l'absorption de gaz entre busettes 4 A à sections circulaire et cannelée.

tions trouvées en fonction du diamètre. On constate une forme très différente des résultats observés suivant qu'on considère les diamètres les plus faibles ou les plus élevés. De part et d'autre d'un minimum d'absorption pour des busettes d'environ 45 mm, on observe une augmentation très rapide vers les plus faibles diamètres et beaucoup plus lente vers les plus forts diamètres.

L'interprétation de ces observations est loin d'être évidente. Il nous est apparu cependant qu'elle pouvait être tentée de la manière suivante. On admet que, pour les faibles diamètres, l'absorption de gaz est principalement déterminée par l'importance des déformations de la surface du jet, donc par la valeur du nombre de Weber sur cette surface. En tenant compte dans le nombre de Weber du carré de la vitesse tangentielle du mouvement tourbillonnaire du jet inversement proportionnelle au diamètre, on peut en déduire que l'absorption proportionnelle au nombre de Weber à la puissance n variera comme l'inverse du diamètre à la puissance 2^n. D'ailleurs nous avons vérifié cette influence plus grande du mouvement tourbillonnaire pour les faibles diamètres en essayant, sur notre modèle froid, de canneler (fig. 14), le conduit cylindrique de la busette d'après les indications d'un brevet récent (16). On constate (fig. 15) que l'effet de diminution de l'absorption est nettement plus important pour une busette de 35 mm que pour une busette de 80 mm.

Pour les diamètres élevés, l'absorption serait régie par la turbulence dans le jet, donc par le nombre de Reynolds et elle serait proportionnelle au diamètre élevé à une puissance fractionnaire.

Utilisation de busettes spéciales.

Nous avons déjà indiqué les résultats obtenus avec une busette cannelée. La diminution d'absorption pour les faibles diamètres n'est pas négligeable mais nos essais sur modèle ne peuvent tenir compte de la destruction très probable des cannelures en cours de coulée.

A partir de certaines données de la littérature (10), il nous a paru intéressant de comparer aux busettes classiques 3 A et 4 A, des busettes plus courtes et dont la partie supérieure soit plus évasée. Nous avons ainsi essayé la busette 175 W représentée sur la *figure 16*. Les résultats obtenus comparés à ceux de la busette 4 A sont consignés dans le *tableau IV*. On constate que les diminutions d'absorption de gaz sont considérables surtout aux plus faibles diamètres.

Malheureusement, l'utilisation de ces busettes courtes en aciérie présente des difficultés sérieuses, car il faut, soit diminuer l'épaisseur des réfractaires du fond de la poche d'où des réfections plus fréquentes, soit ménager un trou au-dessous de la busette, mais il devient alors difficile pour le couleur de déboucher celle-ci à l'oxygène lorsque cela est nécessaire.

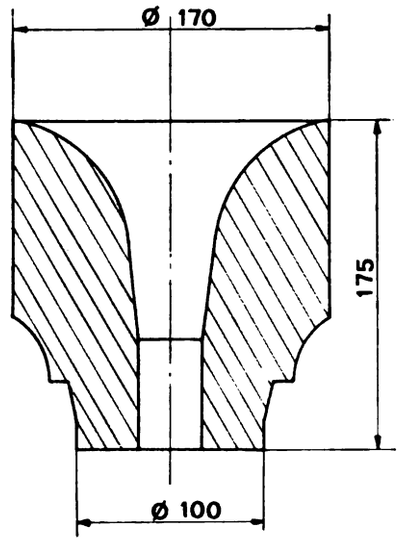


Figure 16. — Busette courte 175 W.

TABLEAU IV : Absorption de gaz pendant la coulée en lingotière avec une busette ordinaire (4 A) et une busette courte (175 W.).

Hauteur de l'acier dans la poche (cm)	Diamètre de la busette (mm)	Busette 4 A	Busette 175 W
160	35	160	35
	50	85	42,5
120	35	150	35
	50	75	40
80	35	140	30
	50	60	32,5

Etude de l'influence de la hauteur de levage du tampon sur l'absorption d'oxygène par l'acier.

Enfin, il nous a paru intéressant d'étudier à l'aide de notre maquette l'influence de la hauteur d'élévation du tampon, car, d'une part, cette influence a déjà été signalée (17) et, d'autre part, comme la nécessité de couler un gros tonnage d'acier en poche dans des petits lingots augmente considérablement le temps de la coulée et, par conséquent, les risques d'une mauvaise fermeture de la busette par le tampon, il arrive que le couleur réduise ces derniers en diminuant la hauteur de levage du tampon.

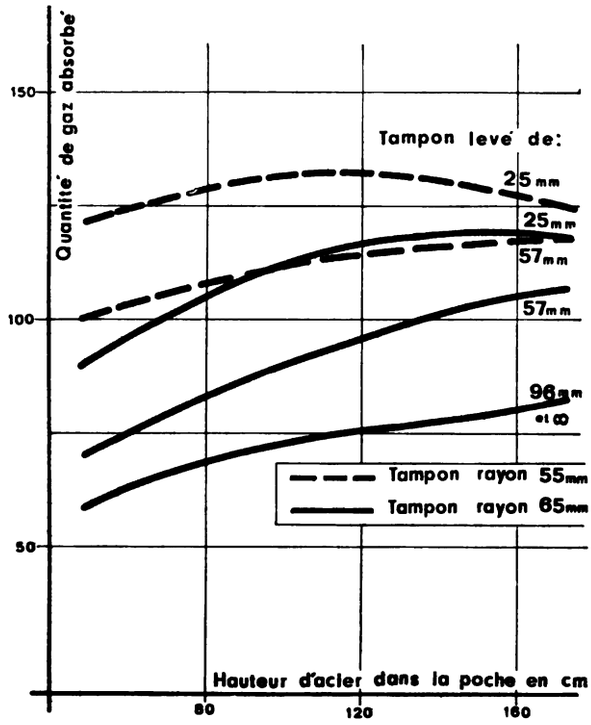


Figure 17. — Influence de la position du tampon sur l'absorption de gaz avec une busette 3 A 50.

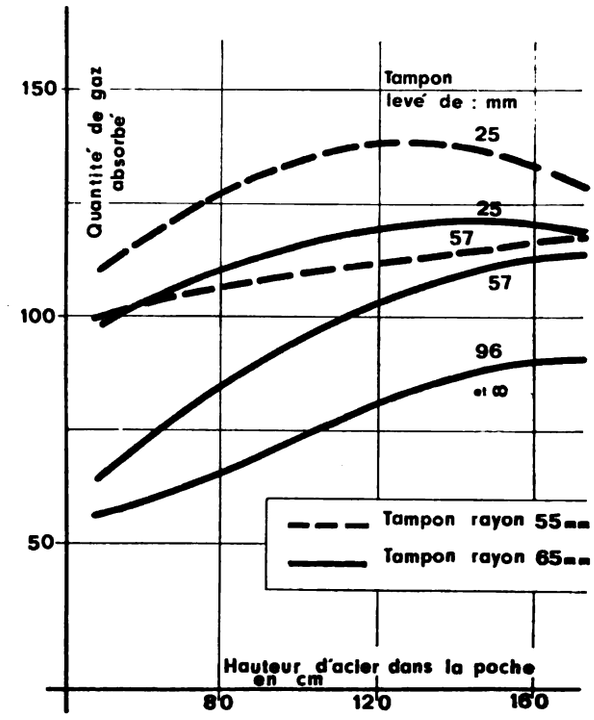


Figure 18. — Influence de la position du tampon sur l'absorption de gaz avec une busette 4 A 50.

Les résultats obtenus dans ces différents essais avec les deux types de busette utilisés dans nos aciéries (pour un diamètre de 50 mm) sont représentés sur les *figures 17* et *18*. On constate sur ces figures une augmentation très nette de l'absorption de gaz, donc d'oxygène, par l'acier. Cet effet d'un levage insuffisant du tampon ne disparait que lorsque la hauteur d'élévation du tampon atteint 96 mm (48 mm × 2). Enfin, on remarque que l'augmentation d'absorption devient moins forte quand croît le diamètre du tampon.

bibliographie

1 ROCQUET (P.), ADAM-GIRONNE (J.). — Etude à l'aide de maquettes, de la vitesse du transfert de masse entre métal et laitier au cours de l'élaboration de l'acier. *Rev. Métallurg.*, 57, n° 12 (décembre 1960), 1 081-1 089.

2 DARKEN (L.S.). — Basic open hearth steelmaking. A.I.M.E. (1951), 866-903.

3 RUSSEL (A.S.), EVANS (D.C.). — Determination of metals dissolved in mercury. Rapid method of purifying mercury. *J. Chem. Soc.*, 127 (1925), 2 221-2 230.

4 WAGNER (C.). — Kinetic problems in steelmaking. Proceedings of the conference : the physical chemistry of steelmaking, M.I.T., 237-251. Technology Press of M.I.T. et John Wiley, éd. (1958).

5 GLADEN (J.K.), DOLE (M.). — Diffusion in supersatured solutions. Diffusion in sucrose and glucose solutions. *J. Am. Chem. Soc.*, 75 (1953), 3 900-3 904.

6 ROCQUET (P.), ADAM-GIRONNE (J.), ROSSI (J.C.). — Recherches sur l'effervescence lors de la solidification de l'acier. *Rev. Métallurg.*, 65, n° 4 (avril 1968), 257-268.

7 BOGDANDY (L. von). — Überlegungen über die Kinetik eisenhüttentechnischer Reaktionen. *Archiv für das Eisenhüttenwesen*, 32 (1961), 287-296

8 PEHLKE (R.D.), ELLIOTT (J.F.). — Solubility of nitrogen in liquid iron alloys II. Kinetics. *Trans. Met. Soc. AIME*, 227 (1963), 844-855.

9 URBAIN (G.), KOZAKEVITCH (P.). — Influence de certains éléments dissous sur la vitesse de dissolution de l'azote dans le fer liquide. *Mém. Sci. Rev. Métallurg.*, 60, n° 2 (février 1963), 143-156.

10 CHEDAILLE (J.), ETIENNE (P.), LEPICARD (E.), DUFLOT (J.). — Contribution à l'étude des écoulements de métal à partir d'une busette. *Rev. Métallurg.*, 58, n° 3 (mars 1961), 257-266.

11 CHIPMAN (J.), GERO (J.B.), WINKLER (T.B.). — The manganese equilibrum under simple oxide slags. *Trans. AIME*, 188, n° 2 (février 1950), 341-345.

12 LUZGIN (V.P.), VISHKAREV (A.F.), JAVOJSKY (V.J.). — Détermination du pouvoir désoxydant des éléments par mesure de f.e.m. *Izv. V.U.Z. Cern. Met.*, 9 (1963), 50-54.

13 HILTY (D.C.), CRAFTS (W.). — The solubility of oxygen in liquid iron containing silicon and manganese. *Trans. AIME*, 188 (1950), 425-435.

14 BARDENHEUER (P.W.). — Die Gleichgewichte zwischen Mangan-, Silizium-, und Sauerstoff- bzw. Mangan-, Aluminium- und Sauerstoff- haltigen Eisenchmelzen und Ihren Schlacken. Dissertation, Technischen Hochschule Clausthal (22 juin 1967).

15 ROBERTS (D.), DANCKWERTS (P.V.). — Kinetics of CO_2 absorption in alkaline solutions. *Chem. Eng. Sci.*, 17 (1962), 961-969.

16 Brevet français n° 1 595 162.

17 YOSHIDA (A.), SHIMADA (M.), ISHIBASHI (M.), TERAO (S.), MORISE (H.). — Study on nozzle shapes and operation methods. Good flow of molten steel in pouring. Yawata Technical Report n° 249 (décembre 1964), 156-168.

sommaire des mémoires

parus dans

les mémoires scientifiques de la revue de métallurgie juillet-août 1972

mémoires

Chambard (G.), Grégoire (P.), Azou (P.), Bastien (P.). — Oxydation du nickel par l'anhydride carbonique sous pression.

Marcinkowski (M.J.). — Les interfaces dans les alliages ordonnés.

Heizmann (J.J.), Becker (P.), Baro (R.). — Etude de la cinétique de réduction de Fe_2O_3 α en Fe_3O_4. Première partie : étude de la réaction chimique.

Waché (X.), Honnorat (Y.), Davidson (J.). — Quelques aspects de l'instabilité des alliages super-réfractaires riches en nickel.

Maynier (Ph.), Toitot (M.), Dollet (J.), Bastien (P.). — Application des lois de la diffusion aux traitements thermiques de l'acier.

Gaballah (I.), Jeannot (F.), Gleitzer (Ch.). — Influence de la réaction de Boudouard sur la réduction de l'hématite et d'un aggloméré lorrain, et sur la morphologie des solides pendant la réduction.

Gaballah (I.), Bert (P.), Dufour (L.C.), Gleitzer (Ch.). — Etude cinétique de la réduction de la wüstite par l'hydrogène et les mélanges $CO + H_2$; Mise en évidence de trichites.

Malmejac (Y.), Desre (P.), Bonnier (E.). — Contribution à l'étude du diagramme de phase ternaire Ge-Si-Sb.

mise au point d'une méthode de mesure de la vitesse des produits en cours de laminage (*)

P. Petit, R. Trentin, P. Verjux
Ingénieurs à l'IRSID (Maizières-lès-Metz)

La connaissance de la vitesse des produits en cours de laminage constitue une information importante pour la conduite automatique des laminoirs.

L'IRSID a mis au point une méthode de mesure par corrélation : on vise le produit à l'aide de deux cellules photoélectriques décalées dans le sens de son défilement et par calcul de la fonction d'intercorrélation des signaux aléatoires ainsi reçus, on obtient l'affichage en continu de la vitesse de laminage.

Les essais effectués sur plusieurs trains de laminoirs ont montré les possibilités de la méthode. Une première installation est prévue en amont et en aval d'une cage dégrossisseuse de train à bandes pour contrôler la réduction d'épaisseur.

INTÉRÊT D'UNE MESURE DE LA VITESSE DES PRODUITS LAMINÉS

L'automatisation des opérations de laminage se développe actuellement en sidérurgie (1). Pour qu'elle permette les gains escomptés, il importe qu'elle soit fondée sur des mesures précises à tout instant du processus. Des progrès sensibles ont été réalisés pour la plupart des paramètres : force, pression, température, épaisseur... Un paramètre cependant reste difficilement mesurable. Il s'agit de la vitesse de laminage.

Celle-ci constitue un paramètre essentiel du laminage et il est *a priori* certain que sa mesure doit donner une information supplémentaire fort utile pour le réglage du processus.

Parmi les applications auxquelles on peut penser immédiatement, citons :

— la mesure indirecte de l'épaisseur du produit en cours de laminage sur les trains à bandes ;

— la synchronisation des vitesses sur laminoirs continus ;

— la commande de la décélération en fin de laminage sur les tandems à froid ;

(*) Etat de la recherche en décembre 1971.

— la commande des refroidissoirs ;

— le contrôle de la longueur des produits par intégration des mesures de vitesse, si la précision de celles-ci s'avère suffisante.

PRINCIPALES MÉTHODES DE MESURE DE LA VITESSE

Les méthodes utilisant un capteur en contact avec le produit laminé sont les plus simples à mettre en œuvre. Elles ne se développent pas pour des raisons de qualité et de précision : d'une part, le frottement du capteur sur le produit ne peut que nuire à l'état de surface, d'autre part, un glissement du capteur par rapport au produit est inévitable et son importance est variable selon les conditions opératoires. C'est pourquoi, par exemple, il est impossible de connaitre avec suffisamment de précision la vitesse d'un produit à partir de la vitesse de rotation des cylindres de travail des laminoirs.

Les méthodes sans contact avec le produit sont bien préférables, mais elles soulèvent évidemment des difficultés technologiques. Parmi les solutions signalées dans la bibliographie, on peut citer :

— des méthodes optiques basées sur l'effet Doppler-Fizeau (2),

— des méthodes de corrélation (3),

— des méthodes électromagnétiques (4),

— des méthodes de marquage magnétique (5).

CHOIX D'UNE MÉTHODE DE CORRÉLATION

Dans le cadre de ses études d'automatisation des laminoirs, et notamment des trains à bandes, l'IRSID a dû rechercher une méthode de mesure de la vitesse facile à implanter et d'un coût limité. Deux principes ont été au départ retenus : un principe électromagnétique (4) et un principe de corrélation sur signaux photoélectriques (6). Ce dernier est apparu, après essais, plus intéressant à mettre en œuvre pour une raison de précision et a donc été choisi pour l'application industrielle.

PRINCIPES DE LA MÉTHODE DE CORRÉLATION

La surface d'un produit en cours de laminage ou venant d'être laminé présente des irrégularités. L'énergie lumineuse qu'il émet s'il est chaud, ou qu'il réfléchit si on l'éclaire avec un projecteur, varie donc en cours de défilement. Si on le vise à l'aide de deux cellules photoélectriques décalées dans le sens du défilement, on obtient deux signaux électriques aléatoires qui sont identiques, mais décalés dans le temps. C'est ce qu'illustre la *figure 1* correspondant à un essai en usine. L'écart de temps Δt entre deux signaux identiques est proportionnel à la distance d séparant dans le plan objet les deux points visés par les cellules et il est inversement proportionnel à la vitesse v du produit :

$$\Delta t = \frac{d}{v}$$

La distance d étant fixe pour un montage donné, la mesure de Δt constitue donc une mesure de la vitesse v. En pratique, on calcule la fonction d'intercorrélation des signaux reçus par les deux cellules. Celle-ci présente un maximum aigu pour l'écart de temps Δt. On en trouvera une justification mathématique à l'*annexe I* et une illustration à la *figure 2* relative à un essai en usine.

MATÉRIELS UTILISÉS

Un ensemble de mesure comprend deux parties principales (fig. 3) :

— une tête optique avec les deux capteurs photoélectriques,

— un ensemble de traitement électronique.

Partie optique.

Deux prototypes ont été successivement réalisés. Le premier prototype (fig. 4) se caractérise par une lunette unique (objectif de 150 mm de distance focale) et deux cellules photoélectriques devant lesquelles sont placées deux fentes (largeur 0,5 mm - distance 6 mm).

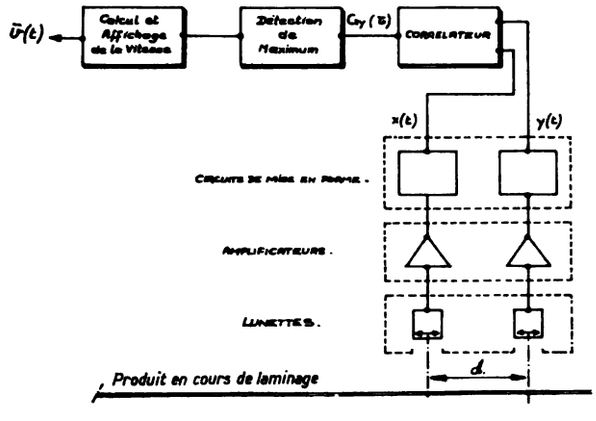


Figure 3. — Tableau synoptique d'un ensemble de mesure de vitesse.

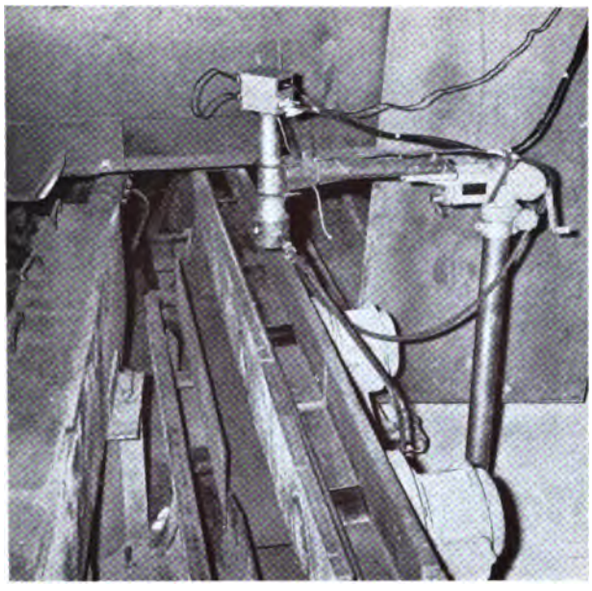


Figure 4. — Premier prototype de mesure de vitesse implanté en usine.

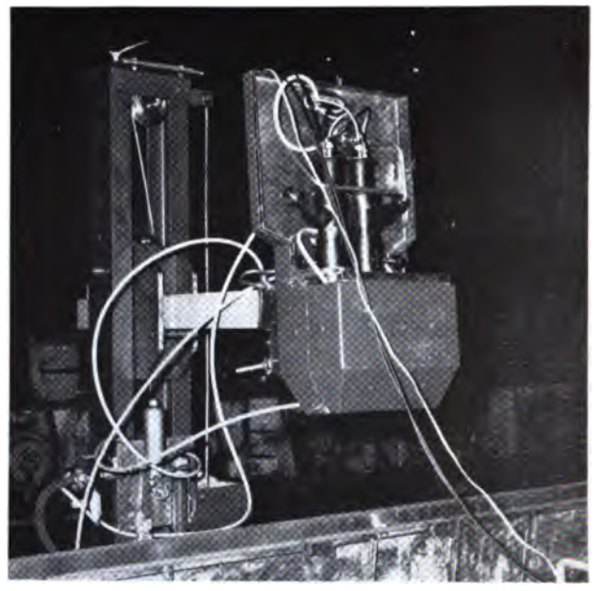


Figure 5. — Second prototype de mesure de vitesse implanté en usine.

Les résultats qu'il a permis d'obtenir ont été bons sur le plan technologique, mais il est apparu difficile d'obtenir une précision suffisante en raison d'une certaine incertitude sur la distance séparant dans le plan objet les deux points visés par les cellules photoélectriques.

Un second prototype a donc été conçu avec deux lunettes distinctes équipées chacune d'une cellule photoélectrique. Il est représenté aux *figures* 5 et 6. *L'annexe II* en précise les principales caractéristiques.

Partie électronique.

L'ensemble électronique utilisé avec les deux premiers prototypes a été élaboré autour d'un corrélateur disponible sur le marché, le C.T.R. 100 de la S.A.I.P.

On peut distinguer trois parties :

— une unité de filtrage et de mise en forme des signaux,

— le corrélateur proprement dit,

— une unité de calcul déterminant la position du maximum sur la courbe de corrélation (fig. 2), en déduisant la vitesse du produit et l'affichant.

Cet ensemble est assez onéreux en raison de l'utilisation d'un corrélateur multipoints. Nous étu-

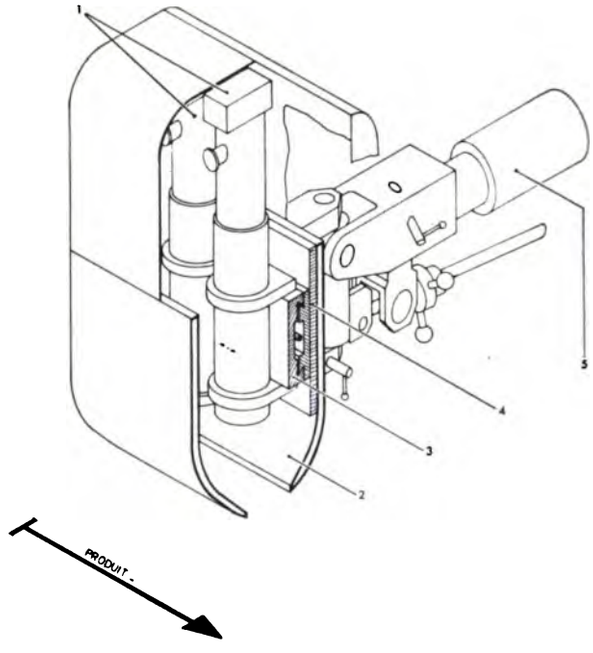


Figure 6. — Vue cavalière de la partie optique du second prototype de mesure de vitesse.

1 : Lunettes. 2 : Boite de refroidissement à eau. 3 : Chariot. 4 : Platine. 5 : Potence.

dions actuellement un corrélateur à retard asservi qui serait beaucoup moins coûteux.

RÉSULTATS OBTENUS

Le premier prototype avec lunette unique a été essayé au train à fil de Jœuf (Société Wendel-Sidélor), au train à feuillard de Thionville (Société Usinor) et au train à fers marchands de Gandrange (Société Sacilor). Les manipulations réalisées à Thionville ont montré qu'avec la technologie électronique alors utilisée, des ondulations basse fréquence se superposaient au signal utile, en rendant l'interprétation difficile.

Les mesures faites à Gandrange ont donné des résultats encourageants, tout à fait exploitables sauf quand, pour les petits profils, le produit sortait du champ de la lunette.

Le second prototype a été expérimenté à nouveau sur le train à fers marchands de Gandrange et également sur le train à bandes de Denain (Société Usinor). La *figure 7* montre un enregistrement de la vitesse correspondante au laminage d'un rond à Sacilor. Les résultats obtenus à Denain vont conduire à l'installation de deux appareils en amont et aval d'une cage du dégrossisseur pour le contrôle de la réduction de l'épaisseur.

La précision des mesures dépend d'un certain nombre de paramètres qui tiennent :

— à la qualité du matériel utilisé, tant pour l'optique que l'électronique,

— aux caractéristiques du produit visé,

— aux conditions de travail sur le laminoir,

— aux conditions de laminage,

— aux réglages du corrélateur.

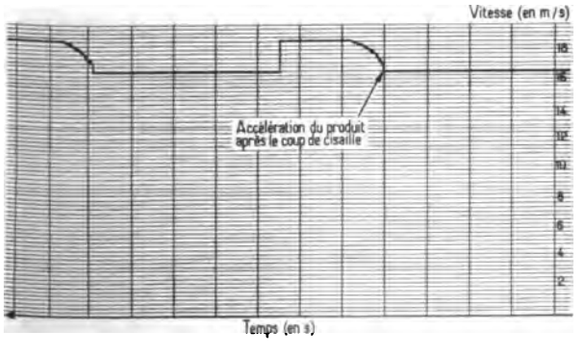


Figure 7. — Exemple d'enregistrement sur un train à fers marchands en sortie du finisseur.

Qualité du matériel optique.

Tout d'abord, les cellules doivent être le plus possible semblables de façon qu'elles « voient » de façon identique le même défaut sur le produit. En fait, elles ne sont appariées qu'en sensibilité, car il était en dehors de nos possibilités de le faire en bande passante.

Ensuite les capteurs photoélectriques doivent être « capables de distinguer » les détails les plus fins, existant à la surface du produit. C'est pourquoi les cellules sont diaphragmées par des fentes. Un compromis entre la résolution du système et un niveau de signal suffisant conduit à une valeur de l'ordre de 0,1 à 0,5 mm pour la largeur des fentes. Sur le second prototype, nous utilisons des fentes de 0,1 mm de largeur.

Qualité du matériel électronique.

Il est nécessaire d'amplifier les signaux avec un matériel occasionnant le plus faible bruit possible et de les trier en supprimant les plus basses fréquences qui correspondent à des parasites dus au secteur ou aux ondulations du produit.

De nets progrès ont été ainsi réalisés depuis les premiers essais avec le premier prototype.

Caractéristiques du produit visé.

Pour obtenir des pics nets d'intercorrélation comme celui de la *figure 2*, il faut travailler sur des produits dont les irrégularités de surface présentent un bon contraste. La méthode de mesure est donc d'un emploi relativement aisé sur les laminoirs à chaud, mais apparait d'application plus délicate sur les trains à froid.

Conditions de travail sur le laminoir.

Le problème essentiel à résoudre est celui de la mise au point de l'optique sur le produit en cours de défilement.

D'une part, il faut que les deux lunettes visent successivement le même point. Elles doivent donc être exactement alignées dans le sens du défilement.

D'autre part, les réglages optiques doivent pouvoir accepter des fluctuations du plan objet, telles que variations d'épaisseur d'un produit à l'autre, ondulations de la surface ou queues de bande.

Pratiquement, avant une série de mesures, on met au point les réglages optiques en visant une mire graduée placée au niveau de la face supérieure du produit qui sera laminé. L'erreur alors commise est inférieure à 0,25 mm. Pour un écartement des lunettes d variant de 80 à 160 mm sur le second

prototype, l'erreur relative correspondante varie donc de 0,3 à 0,15 %.

Les autres erreurs dues aux ondulations ou aux variations d'inclinaison du produit sont à estimer suivant les conditions opératoires.

Conditions de laminage.

La méthode de corrélation permet de mesurer une vitesse moyenne pendant le temps d'intégration. Pour que les résultats soient exploitables industriellement, les variations de vitesse doivent donc être relativement lentes. Des sautes très rapides risquent de nuire à la précision des mesures : le retard entre les signaux varie alors pendant le temps d'intégration, ce qui se traduit par un élargissement, voire une disparition du pic de la courbe de corrélation (6).

Réglage du corrélateur.

Si on appelle x (t) le signal de la première cellule et y (t) le signal de la seconde cellule, la fonction de corrélation Cyx s'exprime en fonction du produit y (t) x (t — τ). Le corrélateur CTR.100 permet de calculer 100 points de cette fonction correspondant aux valeurs suivantes :

$$\tau = (n \times 100 + k)\,\theta \qquad n = 0, 1, 2 \text{ ou } 3$$
$$0 \leqslant k \leqslant 99$$

θ est appelé retard incrémental, le terme 100 n $\theta = t_0$ constituant un décalage d'origine ou faux zéro.

L'expression de la vitesse est donc :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

n et θ étant correctement choisi, le maximum de Cyx se trouve parmi les 100 points calculés.

La détermination de la valeur k_M de k correspondant à ce maximum, permet donc de calculer Δt

$$\Delta t = \theta\,(100\,n + k_M)$$

L'incertitude sur K_M est en moyenne de $\pm$ 1 ; il en résulte une incertitude relative inférieure ou égale à :

1 % pour n = 1

0,5 % pour n = 2

0,3 % pour n = 3

La détermination de la vitesse s'effectue à partir de la formule :

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{d}{t_0 + \Delta t_1}$$

TENDANCES ACTUELLES

La méthode ayant été mise au point, on cherche maintenant à simplifier la technologie pour réduire le plus possible le prix de l'appareillage et en faciliter les réglages en usine.

Le second prototype a été prévu pour s'adapter à une gamme importante de vitesse et il a donc été conçu avec deux paramètres de réglage : d'une part, la distance entre les deux lunettes (variable de 8 à 16 cm), d'autre part la hauteur de mise au point. Il est évident que pour des mesures à poste fixe sur un laminoir traitant des produits donnés, de telles latitudes de réglage sont un peu superflues et on peut notamment utiliser deux lunettes fixes l'une par rapport à l'autre.

Le corrélateur est de son côté un appareil excellent pour la recherche, mais on peut le simplifier pour une utilisation industrielle. C'est ce qui est en cours.

Par ailleurs, les essais ont jusqu'ici porté sur des produits défilant dans un plan donné. Un domaine est en cours d'exploitation : celui où les produits sont soumis à l'action des tendeurs de boucles, par exemple dans le finisseur d'un train à bandes.

CONCLUSIONS

L'IRSID a mis au point pour une recherche d'automatisation sur un train à bandes une méthode industrielle de mesure de la vitesse des produits en défilement. La méthode adoptée est une méthode optique et consiste à faire la corrélation entre deux signaux décalés d'une distance connue. Le matériel retenu apparaît opérationnel et la précision escomptée doit être meilleure que 1 %.

Plusieurs applications apparaissent immédiatement en dehors de l'automatisation, notamment pour commander les refroidissoirs et régler la tension des produits entre cages.

Des contacts ont été pris auprès de plusieurs constructeurs et laissent espérer une commercialisation relativement rapide du matériel retenu.

bibliographie

1 Automation II. Livres des Journées Internationales de Sidérurgie. Düsseldorf (1970).

2 STAVIS (G.). — *Instruments and Control System*, vol. 39 (1966), 99-102.

FLOWER (R.A.). — Industrial speed and length measurement using a laser-velocimeter. IFFE CLEA Conference, Washington (1967).

AGAR (W.O.), BLYTHE (J.H.). — An optical method of measuring transverse surface velocity. *J. Sci. Instrumentation*, n° 1 (1968), 25-28.

NAITO (M.), ISHIGANI (M.), KOBAYASHI (A.). — Spatial filter and its application to industrial measurement. Communication à Imeko V, Versailles (1970).

POKLEKOWSKI (G.), SCHULZ (W.). — Geschwindigkeitmessung an schnellaufenden Walzstrassen mit Hilfe der Lasertechnik.

Automation II. Livre des Journées Internationales de Sidérurgie, Düsseldorf (1970).

3 BUTTERFIELD (M.H.), BRYANT (C.F.), DOWSING (S.). — A new method of strip. Speed measurement using random waveform correlation. *Transaction of the Society of instrument Technology* (juin 1961).

DEKHYARENKO (P.I.), KOZUBOSKY (S.F.). — Nouvelle méthode de mesure automatique de la vitesse de laminage à chaud par autocorrélation de signaux optiques. Automaticheskij Kontrol'i metody elektricheskikh izmerenij. Trudy III konferencii, Novosibirsk (1961) I". *Sibirsk Otdel. AN SSSR* (1964), 135-143. Traduction IRSID T. 2935.

DAUCHER (H.H.), MESCH (F.). — Mesure de vitesse par corrélation. Communication à Imeko V, Versailles (1970).

4 DEUTSCH (R.). — Mesure de vitesse de produit en défilement par champs électromagnétiques : synthèse des essais préliminaires. Note intérieure IRSID N-RT 71-23 (1971) - Rapport à paraitre.

5 Procédé et appareil pour la mesure magnétique des longueurs. Document de United Kingdom Atomic Energy Authority.

6 PETIT (P.), VERJUX (P.). — Mesure optique de vitesse des produits laminés. Rapport à paraitre. Résumé en cours de parution dans *Circulaire d'Information Technique* du C.D.S.

ANNEXE I

MÉTHODE DE CORRÉLATION ENTRE SIGNAUX OPTIQUES ALÉATOIRES

La mesure d'un retard Δt sur des signaux récurrents ou impulsionnels ne pose pas de problèmes particuliers ; dans notre cas, le caractère aléatoire des signaux exige l'emploi d'une technique plus élaborée. Si on appelle x (t) le signal issu du premier capteur à l'instant t et y (t) le signal du second, on a par définition :

$$y(t) = x(t - \Delta t)$$

En raisonnant sur la fonction d'intercorrélation des deux signaux pour un retard fixé *a priori* :

$$Cyx(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T y(t)\, x(t - \tau)\, dt \qquad T \to \infty$$

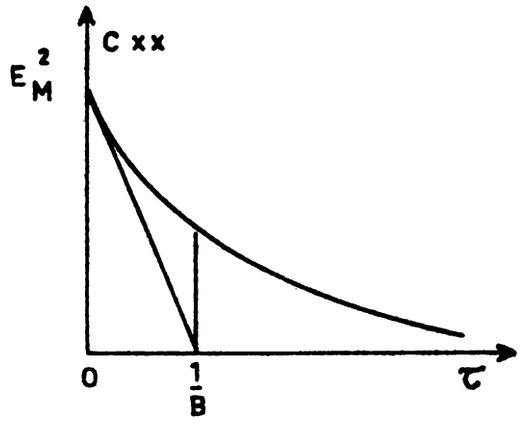
on peut écrire que $Cyx(\tau) = Cxx(\tau - \Delta t)$

En première approximation, le signal x (t) peut être considéré comme un bruit gaussien de bande B. On montre alors que la fonction d'autocorrélation de x (t) a une forme exponentielle :

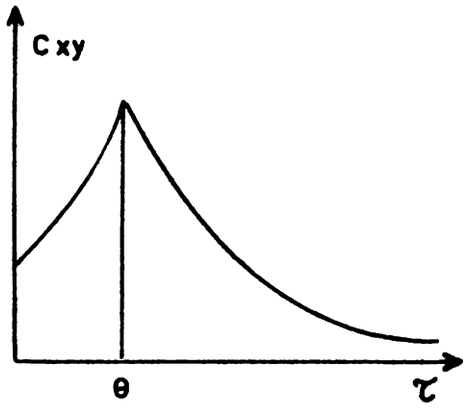
$$Cxx(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t)\, x(t - \tau)\, dt = E_M^2\, e^{-B|\tau|}$$

où E_M^2 représente la valeur quadratique moyenne de x (t).

Graphiquement $Cxx(\tau)$ se présente ainsi :



Cxx (τ — Δ t) et donc Cyx (τ) ont la même forme, mais compte tenu d'un décalage Δ t, présentent un maximum aigu pour $\tau = \Delta t$:



Le maximum de Cyx (τ) est d'autant plus aigu que le spectre des signaux est large.

En pratique, x (t) et y (t) ne sont pas des bruits gaussiens, leur composition spectrale dépendant de la vitesse de la distribution des défauts sur le produit et de la résolution du capteur optique ; on obtient donc des formes de courbes de corrélation plus amorties, et présentant des maxima de plus faible amplitude dus à la présence de signaux parasites.

ANNEXE II

SYSTÈME OPTIQUE DE MESURE DE VITESSE (Prototype n° 2)

Chaque lunette se compose d'un objectif (∅ 63, f = 200) et d'une fente ; celle-ci est réalisée à partir d'un disque de verre optiquement poli, sur lequel on a fait un dépôt d'aluminium, après avoir pris soin de tendre un fil de 1/10 de diamètre ; le miroir fente ainsi obtenu (derrière lequel est placée la cellule photoélectrique) est incliné à 15°, le faisceau de lumière réfléchi est recueilli par une petite lunette.

Ce dispositif permet de contrôler la mise au point du système optique et d'autre part de connaître la distance exacte entre les deux axes optiques en visant une mire graduée.

Les deux lunettes sont montées sur une platine permettant le réglage de distance entre les deux axes. L'ensemble est protégé mécaniquement et thermiquement par un capotage. La distance entre les axes est réglable entre 8 et 16 cm ; la mise au point est possible pour une distance objectif-produit comprise entre 40 et 60 cm.

compléments à l'étude des phénomènes thermiques dans les joints soudés

G. Bernard, M. Prudhomme
Ingénieurs à l'IRSID (Saint-Germain-en-Laye)

Communication présentée aux "Journées Métallurgiques d'Automne 1971" organisées par la Société Française de Métallurgie.

L'étude des phénomènes thermiques dans les zones affectées par la chaleur des soudures a été poursuivie expérimentalement et théoriquement réévaluée. On a pu dégager une relation biunivoque entre les paramètres :

$$\Delta t_{300}^{700} \left(\frac{500 - T_p}{480} \right)^2 \quad \text{et} \quad \frac{e^2}{E} \left(\frac{500 - T}{480} \right)$$

où Δt_{300}^{700} représente le paramètre de refroidissement, E l'énergie linéaire de soudage et T_p la température de préchauffage. Cette relation, vérifiée expérimentalement, se prête à la construction d'abaques simples pour le calcul de Δt_{300}^{700} en fonction des paramètres de soudage.

L'application d'équations théoriques à la description morphologique du bain fondu a été également examinée. Nos résultats et ceux mentionnés dans la littérature, en très bon accord, permettent l'évaluation simple des sections fondues lors du soudage sous flux pulvérulent.

CYCLES THERMIQUES DES ZONES AFFECTÉES PAR LA CHALEUR

Nous avions souligné, dans une précédente communication (1), l'intérêt que présentait la connaissance des cycles thermiques subis par la zone thermiquement affectée d'une soudure quant à la prévision des structures métallurgiques obtenues dans cette zone.

Rappelons que la dureté de la zone affectée avait été reliée au « critère » de refroidissement Δt_{300}^{700}, temps mis par un point de cette zone pour passer de 700°C à 300°C. Nous avions pu alors exprimer ce paramètre en fonction de l'énergie linéaire de soudage et de l'épaisseur de la pièce soudée dans deux domaines limites : celui des pièces dites « infiniment épaisses » et celui des pièces « infiniment minces ».

Les limites de ces domaines restaient cependant à préciser, d'autre part l'influence d'un éventuel préchauffage, quoique mise en évidence expérimentalement, restait à expliquer ; par ailleurs, le domaine intermédiaire des pièces moyennement épaisses n'avait pu être caractérisé. La solution de ces problèmes imposait donc la poursuite du travail expérimental.

Sur le plan théorique, un bref examen de la littérature suffit à démontrer l'intérêt que le calcul des cycles thermiques de soudage a pu susciter.

Les équations de Rosenthal (2) restent à la base de ces différents travaux. Citons en particulier les contributions d'Adams (3), Jhaveri et al. (4), de la même école, dont l'intéressant traitement des équations de transfert aurait dû susciter plus d'applications. Les travaux très complets de Christensen (5), le travail théorique de Myers (6), très dense mais trop éloigné des préoccupations pratiques et parfois, comme nous le verrons, sujet à caution ; enfin les contributions de Rykaline (7) malheureusement peu accessibles et en général assez mal connues.

Sur le plan des applications pratiques signalons le travail de Rose (8) et les travaux effectués au Creusot (9) (10) ; ces derniers, s'appuyant sur le traitement d'Adams, ont déjà permis la construction de nomogrammes permettant, à partir de paramètres de soudage, d'obtenir la vitesse de refroidissement à 300°C.

Il nous semblait cependant que la dérivation et l'utilisation d'expressions quantitatives exactes telles qu'habituellement recherchées ne se justifiaient pas du fait des approximations imposées par le traitement de Rosenthal. Par contre, ce traitement pouvait être étendu plus avant dans la recherche de formulations fonctionnelles liant les différents paramètres. D'autre part, il était désirable de pouvoir, à partir de nombres limités de données, déterminer les variations du paramètre de refroidissement Δt_{300}^{700} pour différentes conditions expérimentales. L'analyse dimensionnelle, outil mathématique assez souvent utilisé dans les problèmes de transfert de chaleur, s'avérait alors complémentaire du traitement quantitatif exact.

Etude fonctionnelle des cycles thermiques.

Nous garderons pour cette étude les hypothèses de Rosenthal :

1. L'arc peut être considéré comme une source ponctuelle se déplaçant à vitesse constante sur la plaque soudée. Si effectivement la température dans la colonne de plasma peut être considérée, pour la pratique, comme infinie, l'arc n'est cependant pas une source ponctuelle. On peut cependant admettre que « vu » d'un point de la zone chauffée à 700 ou 800°C, donc plusieurs centimètres derrière l'arc, celui-ci se comporte effectivement comme une source ponctuelle.

2. Le métal ne subit pas de transformations. hypothèse est sans doute la plus critiquable, fusion partielle du métal et sa solidification pe faire intervenir une part non négligeable de l'é fournie.

3. Les paramètres thermiques du métal sont pendants de la température : approximation encore, quoique l'erreur en résultant soit partiell éliminée par le choix de valeurs moyennes.

4. Dernière hypothèse que nous accep comme un fait expérimental : le cycle thermiq la zone affectée, tel que caractérisé par un para Δt, est assimilable à celui du centre du cord que caractérisé par ce même paramètre. Le *tab* donne, à titre d'exemple, quelques valeurs obt par soudage sous flux pulvérulent appuyant hypothèse (on se rappelle que la prévision de retés dans la zone affectée fait intervenir le rithme du critère de refroidissement).

Ces hypothèses étant définies, quels parar suffit-il de préciser pour que la température du du cordon soit connue ?

En régime stationnaire, il suffira de précise paramètres thermiques du métal, ρc chaleur s que et α diffusivité thermique, l'épaisseur e pièce soudée considérée infiniment large, la di u du point considéré à l'arc et, bien sûr, la v de soudage v et la chaleur apportée par l'a unité de temps Q. Nous laisserons de côté le teurs de rendement thermique ou de forme de frein qui ne devraient intervenir que comme co tes dans l'expression de Q. Ces paramètres connus, la température θ d'un point du cordo déterminée par une certaine fonction :

$$f(\theta, u, \rho c, \alpha, Q, v, e) = 0$$

En vertu de principes classiques, cette éq ne devra faire intervenir que les nombres sans sions indépendants qui peuvent être formés à

TABLEAU I : Comparaison des paramètres de refroidis dans le métal fondu et la zone affectée par la chal

Δt_{300}^{700} (s) M.F.	Δt_{300}^{700} (s) z.a.c.
352	370
145	165
60	80
50	56
46	55

de ces sept paramètres. Ces paramètres sont donc décomposés selon un système d'unités indépendantes :

	°C	cm	s	cal
θ	1	0	0	0
u	0	1	0	0
ρc	— 1	— 3	0	1
α	0	2	— 1	0
Q	0	0	— 1	1
v	0	1	— 1	0
e	0	1	0	0

On voit immédiatement que les paramètres Q, ρc, et θ ne pourront intervenir séparément, mais uniquement sous la forme $Q/\rho c \theta$. Il suffit alors de rechercher les nombres sans dimensions parmi les paramètres :

	°C	cm	s	cal
$Q/\rho c \theta$	0	+ 3	— 1	0
u	0	1	0	0
α	0	2	— 1	0
v	0	1	— 1	0
e	0	1	0	0

On ne peut extraire de cette matrice que trois nombres adimensionnels indépendants ; nous choisirons les quantités :

$$\frac{Q}{\rho c \theta v e^2} \qquad \frac{u v}{\alpha} \qquad \frac{e v}{\alpha}$$

La distance à l'arc u peut être écrite $u = v t$, t représentant le temps écoulé depuis le passage de l'arc au point donné. En combinant les nombres précédents, on obtient alors :

$$F\left[\frac{Q/v}{\rho c \theta e^2}, \frac{v^2 t}{\alpha}, \frac{\alpha t}{e^2}\right] = 0 \quad [2]$$

que l'on peut encore écrire :

$$\frac{v^2 t}{\alpha} = G\left[\frac{Q/v}{\rho c \theta e^2}, \frac{\alpha t}{e^2}\right] \quad [3]$$

Considérons maintenant le cycle de refroidissement du centre du cordon et supposons que θ est une fonction du temps satisfaisant toutes conditions de régularité. Quand $t \to 0$, on sait (hypothèse 1) que $\theta \to \infty$, donc :

$$\frac{v^2 t}{\alpha} = 0 = G(0, 0); \quad [4]$$

d'autre part, si l'épaisseur e tend vers l'infini, on a pour toutes valeurs finies de t :

$$\frac{v^2 t}{\alpha} = G(0, 0), \quad [5]$$

entrainant

$$\frac{v^2 t}{\alpha} = 0.$$

Cette dernière égalité n'a, pour une pièce infiniment épaisse, aucune raison d'être sauf pour $t = 0$. La simultanéité des équations [4] et [5] n'est donc possible que si le terme $\frac{v^2 t}{\alpha}$ ne figure pas dans l'équation fonctionnelle [2].

Il s'ensuit que, pour toutes épaisseurs de plaques, la température du centre du cordon sera déterminée par une fonction unique de deux variables :

$$F\left[\frac{Q/v}{\rho c \theta e^2}, \frac{t \alpha}{e^2}\right] = 0 \quad [6]$$

Cette équation suscite plusieurs remarques.

Elle est valable dans le cas d'un préchauffage. Du fait de la possibilité de superposition des potentiels thermiques, il suffit de remplacer θ par $T - T_p$, T_p représentant la température de préchauffage, température initiale de la pièce.

On retrouve l'équation de Rosenthal pour les pièces très épaisses. L'équation [6] peut en effet s'écrire (remarquant que la conductivité thermique k et égale à $\rho c \alpha$),

$$F_1\left[\frac{Q/v}{k \theta t}, \frac{t \alpha}{e^2}\right] = 0, \quad [7]$$

lorsque e tend vers l'infini, on aura pour toutes valeurs finies du temps :

$$F_1\left[\frac{Q/v}{k \theta t}, 0\right] = 0; \quad [8]$$

ce qui impose que

$$\frac{Q/v}{k \theta t} \begin{cases} \text{soit infini} \\ \text{soit constant} \\ \text{soit nul} \end{cases}$$

Seule la deuxième possibilité a une signification physique et l'on a donc :

$$\frac{Q/v}{k\,\theta\,t} = \text{Cte} \qquad [9]$$

Cette constante, qui ne peut être qu'une constante universelle, est égale à $2\,\pi$ (analyse de Rosenthal).

L'équation de Rosenthal pour les tôles très minces ne se retrouve pas aussi facilement ; notons cependant qu'elle peut s'écrire :

$$2\sqrt{\pi} = \frac{Q/v}{\rho\,c\,\theta\,e^2}\left[\frac{e^2}{\alpha\,t}\right]^{1/2} \qquad [10]$$

dont la forme confirme la validité de l'analyse précédente.

Nous voyons également que l'équation [6] ne fait intervenir Q et v que sous la forme $Q/v = E$ énergie linéaire de soudage, fait remarquable postulé et utilisé par Jhaveri et al. (4).

Enfin l'équation [1] mise sous une dernière forme :

$$\frac{t\,\theta}{E} = \frac{1}{k}\,G_1\left[\frac{e^2\,\theta}{E}\right] \qquad [11]$$

appelle une remarque importante : considérons, pour une énergie donnée E, le temps t_1, mis par un point du cordon pour atteindre une température donnée θ_1. La nature physique du phénomène impose que ce temps t_1 tende asymptotiquement vers la limite correspondant aux pièces infiniment épaisses. Si θ_1 est, par exemple, 600°C et E 10 kJ/cm, on conçoit qu'il ne peut y avoir de différence entre t_1 pour une pièce de 20 cm d'épaisseur et t_1 pour une pièce de, par exemple, plusieurs mètres d'épaisseur. La courbe $\frac{t_1\,\theta_1}{E_1}$ (ou $\frac{t\,\theta}{E}$) en fonction de $\frac{e^2\,\theta_1}{E_1}$ (ou $\frac{e^2\,\theta}{E}$) devra donc se présenter comme schématisé sur la *figure 1*.

Il apparaît immédiatement que la limite du domaine de validité de l'approximation $e = \infty$ (tel que défini par un seuil $\Delta t/t = x\ \%$) correspond à une valeur critique du paramètre $\frac{e^2\,\theta}{E}$. Il s'ensuit qu'à énergie constante, l'épaisseur critique sera d'autant plus faible que θ est plus élevé. Par exemple, si la pièce peut encore être considérée comme épaisse pour T = 300°C, elle le peut pour toutes températures supérieures à cette valeur. En d'autres termes, pour un critère donné, la quantité $\frac{e^2\,\theta}{E}$ pour la borne inférieure de l'intervalle de température choisi déterminera la limite du domaine des pièces « infiniment épaisses ».

Le même argument pourrait être utilisé pour la limite du domaine dit « des tôles minces ». On aurait

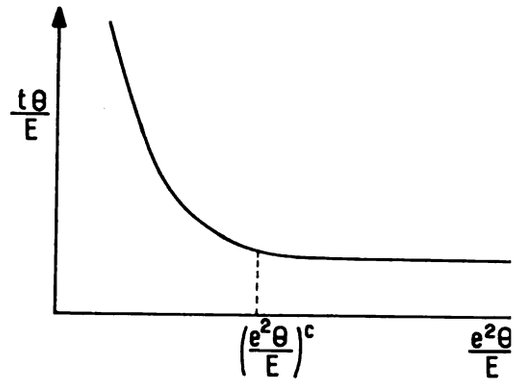


Figure 1. — Représentation schématique de l'équatic

alors fait intervenir la borne supérieure de l'int de température choisi.

Ces conclusions, qui sont en accord avec de Jhaveri et al. (4) sont par contre en dés avec celles de Myers et al. (6) qui relient l'épa limite à l'expression e v.

Application au calcul du critère $\Delta\,t_{300}^{700}$

Nous appliquerons d'abord les principes dents aux critères de refroidissement $\Delta\,t_{300}^{700}$ da premier cas : soudage manuel à l'électrode er sur plat (cas expérimental envisagé dans cette é température de préchauffage égale à la tempé ambiante T_0. L'énergie linéaire de soudage est facteur près (rendement, facteur de chanfrein) au produit U I/v, U et I représentant respectiv la tension et l'intensité de soudage. Les paran thermiques de l'acier, invariants du point de vu périmental, peuvent être éliminés de l'équatio qui devient :

$$\frac{t}{E} = \frac{1}{T - T_0}\,G_1\left[\frac{e^2\,(T - T_0)}{E}\right]$$

d'où :

$$\frac{t_{700}}{E} = \frac{1}{680}\,G_1\left[e^2\,\frac{680}{E}\right]$$

$$\frac{t_{300}}{E} = \frac{1}{280}\,G_1\left[e^2\,\frac{280}{E}\right]$$

On en déduit l'existence d'une fonction u telle que :

$$\frac{\Delta\,t_{300}^{700}}{E} = g_1\left[\frac{e^2}{E}\right]$$

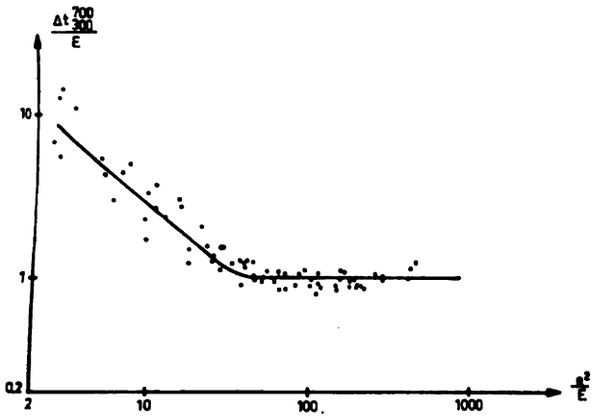


Figure 2. — Variation du critère de refroidissement Δt_{300}^{700} en fonction des paramètres de soudage (T_p = 20).

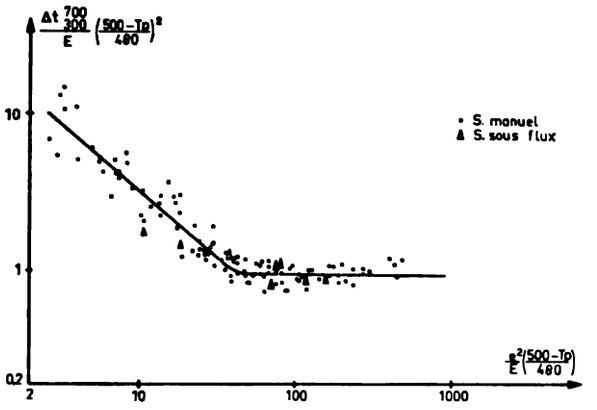


Figure 3. — Variation du critère de refroidissement Δt_{300}^{700} en fonction des paramètres de soudage (coordonnées réduites).

La corrélation entre les paramètres $\dfrac{\Delta t_{300}^{700}}{E}$ et $\dfrac{e^2}{E}$ est illustrée sur la *figure 2*. Malgré la dispersion due en partie aux difficultés expérimentales, cette corrélation apparaît satisfaisante. Tous les points expérimentaux peuvent être représentés approximativement par deux droites. Le domaine des tôles épaisses apparaît nettement et correspond à :

$$\frac{e^2}{UI/v} \geqslant 40{,}5$$

$$\text{ou } e_{mm} \geqslant 6{,}35 \sqrt{\frac{UI}{v}} \text{ (kJ/cm)}$$

Les points expérimentaux correspondent à 29 expériences réalisées avec des énergies variant entre 7 et 27 kJ/cm, pour des épaisseurs de plaques variant entre 5 et 60 mm.

Il est bien sûr désirable d'inclure l'influence d'un préchauffage. L'argument utilisé dans le dernier paragraphe ne peut cependant être répété. Nous ferons donc l'hypothèse supplémentaire que la vitesse moyenne de refroidissement, entre 700 et 300°C, est approximativement égale à la vitesse de refroidissement à la température médiane de 500°C.

$$\frac{400}{\Delta t_{300}^{700}} = \left(\frac{\delta T}{\delta t}\right)_{500°C} \qquad [16]$$

Reprenons maintenant l'équation [6] sous la forme :

$$\frac{t}{e^2} = h\left[\frac{E}{\theta\, e^2}\right] \qquad [17]$$

Ceci conduit, par dérivation, à :

$$\frac{1}{e^2} = h'\left[\frac{E}{\theta\, e^2}\right] \times -\frac{E}{\theta^2\, e^2}\,\frac{d\,\theta}{d_t}$$

$$\frac{d_t}{d\,\theta} = -\,h'\left[\frac{E}{\theta\, e^2}\right] \times \frac{E}{\theta^2} = \frac{\Delta t_{300}^{700}}{400}$$

ou encore :

$$\frac{\Delta t_{300}^{700}}{E}\left[500 - Tp\right]^2 = h_1\left[\frac{e^2}{E}(500 - T_p)\right] \qquad [18]$$

Il existe donc une relation fonctionnelle unique entre les paramètres :

$$\frac{\Delta t}{E} \times \left(\frac{500 - T_p}{480}\right)^2 \text{ et } \frac{e^2}{E}\left(\frac{500 - T_p}{480}\right)$$

Cette relation est illustrée sur la *figure 3* où tous nos points expérimentaux ont été reportés. Ces 115 valeurs ont été obtenues, toujours pour des énergies variant entre 7 et 27 kJ/cm, pour des températures de préchauffage allant jusqu'à 220°C. Il faut remarquer que quelques expériences effectuées pour des températures de préchauffage entre 240 et 260°C ont donné des résultats très à l'écart de cette corrélation, ce qui est probablement dû au fait que notre dernière hypothèse n'est plus justifiée. Jusqu'à 220°C cependant, nous n'avons pas observé de déviation systématique significative par rapport à la courbe moyenne.

Enfin, jusqu'à cette température, la dispersion observée n'est pas supérieure à celle observée dans la *figure 2*, les deux courbes de la figure 2 et de la *figure 3* étant bien entendu assimilables.

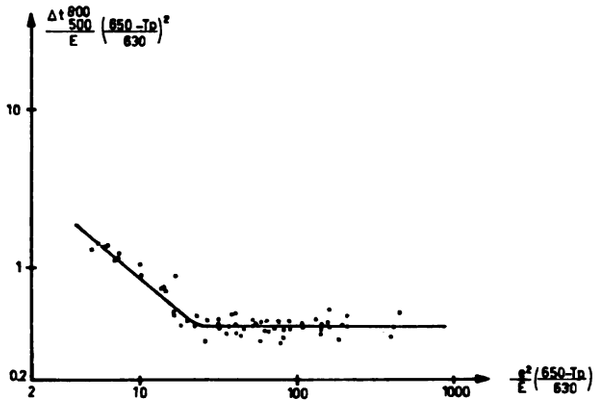


Figure 4. — Variation du critère Δt_{500}^{800} en fonction des paramètres de soudage (coordonnées réduites).

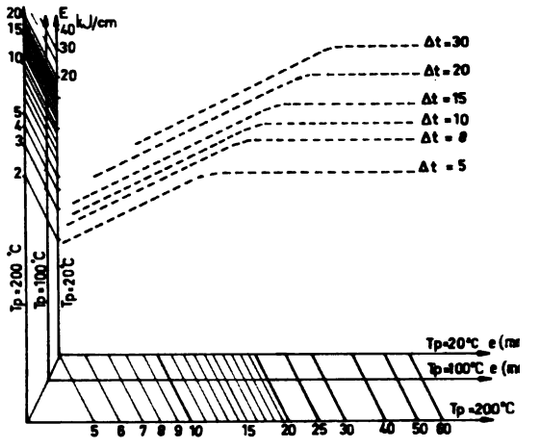


Figure 5. — Conditions de soudage à Δt_{500}^{700} const

Remarquons également que la pente de la droite tracée pour les fortes valeurs de Δt ne correspond pas à ce que l'on obtiendrait à partir de la formule de Rosenthal pour les pièces très minces (correspondant à une pente de 45°).

Finalement, les arguments précédemment utilisés peuvent être appliqués à tout autre paramètre de refroidissement. Ceci est illustré sur la *figure 4*. construite à partir de 63 points expérimentaux pour le critère Δt_{500}^{800} (temps mis par la zone affectée pour passer de 800 à 500°C). On remarque qu'en accord avec le raisonnement précédent, le domaine des pièces épaisses pour ce dernier critère se trouve déplacé vers les épaisseurs moindres. Une pièce sera pour ce critère, considérée comme épaisse (T_p = 20°C) si :

$$\frac{e^2}{E} > \sim 20$$

ou

$$e > \sim 4{,}5 \frac{UI}{v} \text{ (kJ/cm)}$$

alors que nous avions en Δt_{300}^{700}

$$e > 6{,}35 \sqrt{\frac{UI}{v}} \text{ (kJ/cm)}$$

On pourrait également vérifier l'analyse précédente pour d'autres paramètres de refroidissement. Cette vérification est envisagée en particulier en ce qui concerne la vitesse de refroidissement à 300°C, paramètre utilisé au Creusot ; elle n'a pu être faite sur les données utilisées ici car une détermination réaliste de la vitesse de refroidissement à 300°C nécessitait des éprouvettes plus importantes (plus larges) que celles utilisées ici. Il apparait cependant que l'un des mérites de l'analyse précédente se permettre le passage d'un paramètre à un aut d'harmoniser ainsi les travaux effectués dans férents laboratoires.

Notons également — et ceci est un des princ intérêts de la méthode utilisée ici — que l'exte de l'analyse dimensionnelle aux problèmes des dures dans des conditions géométriques qui ne mettent pas l'application des équations de Rose (cornières par exemple) ne pose aucun prob supplémentaire. Un exemple d'une telle extensi d'ailleurs été décrit dans une autre communic (12).

Dans le cas du soudage sur plat considéré i simplicité des expressions obtenues permet une c mination (*) graphique rapide du paramètre de r dissement en fonction des caractéristiques de dage.

Plus simplement, on peut aussi prévoir, qu'indiqué sur la *figure 5*, les conditions de sou correspondant, à un Δt donné (donc à une d donnée pour un acier déterminé).

En conclusion de cette première partie, il rait que l'application des principes de transfe chaleur par l'analyse dimensionnelle permet de franchir des limites imposées par le calcul exa se révèle complémentaire des travaux déjà effec

En même temps, cette analyse se prête très à la compréhension qualitative du phénomène. sera utilisée dans la deuxième partie de cette où nous examinerons l'extension de relations riques aux phénomènes thermiques dans le fondu.

(*) L'abaque correspondant est disponible sur dema l'IRSID.

.PPLICATION DES ÉQUATIONS DE OSENTHAL A LA DÉTERMINATION A MORPHOLOGIE DU MÉTAL FONDU

›plication des équations théoriques au calcul fil de fusion est très tentante. Il faut surtout er le travail de Christensen (5) exhaustif et igné. Les idées de Christensen seront ici très ɜnt suivies, mais simplifiées en vue d'applica- lus pratiques.

ɔparait tout d'abord certain que les équations ɜenthal, où l'arc électrique n'est représenté r les quantités UI et v, ne pourront permettre ɜrminer pénétration ou largeur du bain fondu façon grossière. Il est bien connu que la géo- de la colonne de plasma, elle-même dépen- ɟe facteurs tels que la densité de courant, la d'ionisation du milieu et autres, a une influence ınte sur ces dimensions. Par contre, on peut re que l'aire de la section fondue, intégrant ıtion et largeur, sera plus accessible à l'ana- ɟous essaierons donc de relier la valeur de ıire aux paramètres de soudage. Le cas que vions envisagé est celui où cette surface pré- les variations les plus importantes : le cas du ɟe sous flux pulvérulent.

ɔplication des équations théoriques à la déter- ›n du profil de fusion rend les hypothèses ɜes dans la première partie très critiquables, t l'hypothèse 2 supposant l'absence de trans- ion dans l'acier. Il a été cependant montré okorov (13) que l'introduction de la chaleur de dans le calcul ne modifiait que de façon insi- te la section maximale fondue, influant essen- ent sur la longueur du bain. Quoi qu'il en soit, ilité des hypothèses n'autorise pas la recherche ·mules quantitatives exactes mais seulement ınnelles.

ıt d'abord il convient de rappeler la remarque quant à la limite du domaine des pièces es. Nous avons vu que cette épaisseur dépen- ɜ la quantité $\frac{e^2\,\theta}{E}$. Il s'ensuit que pour le calcul otherme de fusion ($\theta \sim 1\,500$°C), l'épaisseur sera très faible. On peut donc considérer que, ɟans le cas où le cordon traverse la plaque toute son épaisseur, les calculs pourront être ıés en considérant toutes pièces comme infi- t épaisses.

démarche mathématique sera dans un premier celle que suit Christensen. On utilise l'équation ›senthal pour les plaques épaisses :

$$\theta = \frac{Q}{2\,\pi\,k}\,\frac{e^{-\,v/2\,\alpha\,(\sqrt{u^2+r^2}\,-\,u)}}{\sqrt{u^2+r^2}} \qquad [19]$$

u et r représentant, en régime stationnaire, les coordonnées cylindriques d'un point de la pièce par rapport à l'arc.

On recherche ensuite le rayon maximum de l'isotherme de fusion ($\theta = 1\,500$°C),

$$\left[\frac{\delta\,r}{n\,\theta}\right]_{\theta\,=\,1500} = 0.$$

Ces opérations, rappelées brièvement en annexe conduisent aux résultats de Christensen et al. illustrés sur la *figure 6* tirée de leur article (5).

On peut constater que la corrélation illustrée sur la *figure 6* présente une dispersion importante. Cependant, il nous semblait que le grand nombre de conditions expérimentales, pour des métaux très différents, envisagées par les auteurs était une des causes de cette dispersion. Le cas que nous avions considéré expérimentalement ne concernait que l'acier et d'autre part le soudage sous flux. Dans ces conditions, il nous semblait possible d'éliminer une grande partie de cette dispersion et surtout de rechercher une formulation mathématique fonctionnelle plus simple.

La recherche de cette formulation obtenue par passage aux limites de la solution de l'équation [19] est obtenue par un calcul élémentaire, quoique relativement long, qui est reproduit dans l'annexe.

On obtient deux formes limites de la solution : la première, valable pour les faibles valeurs du produit $UIv << 800$ j . cm . s^{-2}, s'écrit :

$$Av^2 = \frac{\pi}{8\,(\pi\,k\,\theta_f)^2} \times (UIv)^2 \qquad [20]$$

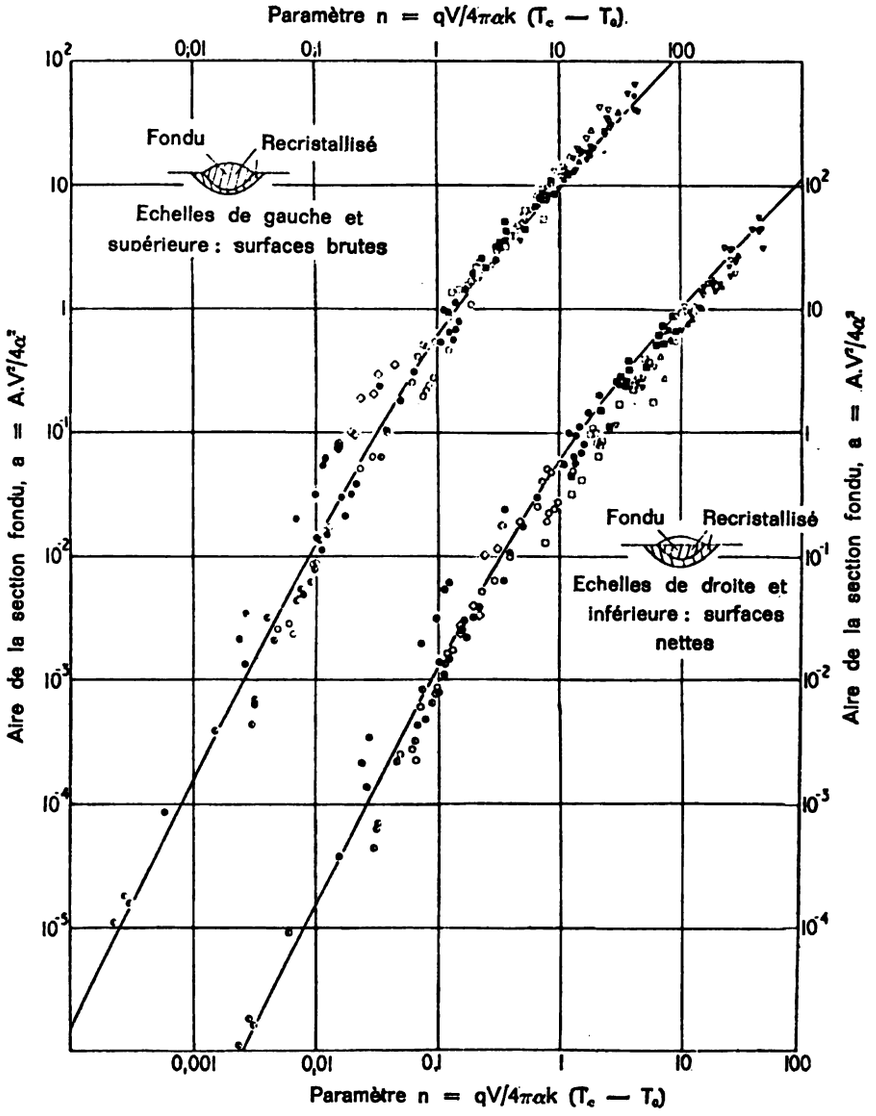
signifiant qu'alors Av^2 est proportionnel au produit $(UIv)^2$, ce cas ne nous intéressant guère. La deuxième, valable pour les fortes valeurs du produit UIv (seuil théorique $UIv > 2\,000$ j . cm . s^{-2}) nous intéresse plus car elle correspond aux valeurs les plus courantes obtenues en soudage sous flux. Cette seconde approximation s'écrit (voir annexe) :

$$Av^2 = UIv\,\frac{1}{2{,}72\,\rho c\,\theta_f} - 2\,\alpha^2\,\pi \qquad [21]$$

équation introduisant une relation linéaire entre les produits Av^2 et UIv.

Application expérimentale.

Nous avons entrepris d'appliquer la relation ci-dessus aux résultats expérimentaux obtenus à partir de 22 essais. Ces essais ont été effectués sur l'acier type E 36, sous flux fondu neutre. Les plaques soudées étaient chanfreinées à 30, 45 et 60 degrés. La présence de ces chanfreins ne justifiait pas, à notre avis, une modification de l'analyse précédente, car nous avons pu constater que l'arc frappait le métal déjà fondu et par conséquent le profil de fusion ne devait pas d'en trouver modifié. Les vitesses utili-



○ TIG ; acier doux
◐ TIG ; aluminium
● TIG ; étain
} métal fondu

⊕ TIG ; acier doux : métal recristallisé

△ MIG ; acier doux
◇ MIG ; aluminium
} métal fondu

▲ MIG ; acier doux : métal recristallisé

□ Acier doux avec revêtement : métal fondu

■ Acier doux avec revêtement : métal recristallisé

▽ Arc submergé ; acier doux : métal fondu

▼ Arc submergé ; acier doux : métal recristallisé

Figure 6. — Aire de la section fondue en fonction du paramètre de soudage (coordonnées Christensen).

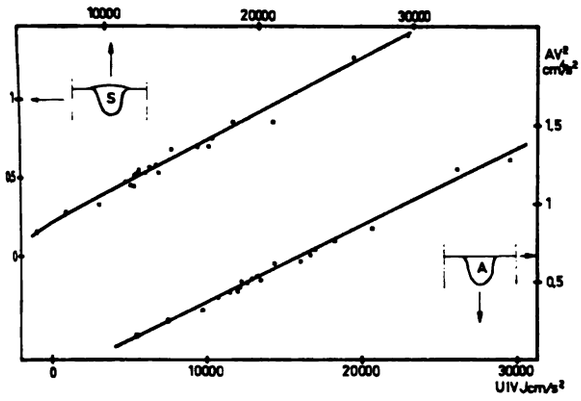


Figure 7. — Variation de l'aire fondue en fonction des paramètres de soudage.

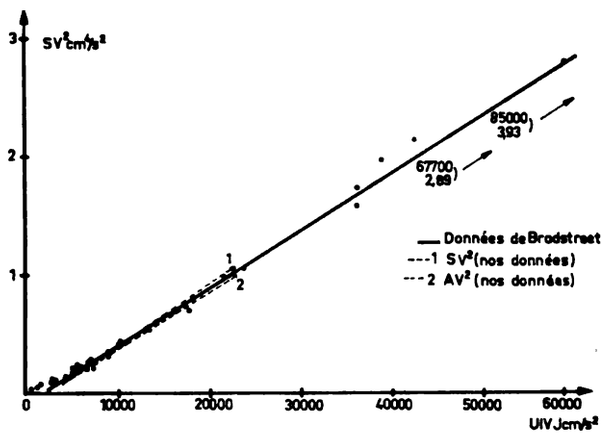


Figure 8. — Test théorique des données de Bradstreet.

sées variaient entre 15 et 32 cm/mn et les énergies linéaires entre 22 et 85 kJ/cm. Les valeurs obtenues sont reportées sur la *figure 7* où nous avons distingué, suivant en cela Christensen, entre l'aire fondue sans la surépaisseur (A) et avec la surépaisseur (S). On peut voir sur la *figure 7* que la relation proposée apparaît très satisfaisante dans les deux cas. Statistiquement on obtient :

$$Av^2 = 4{,}81 \,.\, 10^{-5}\ Ulv - 0{,}114 \qquad [22]$$

$cm^4\ s^{-2}$ $\qquad$ $j \,.\, cm \,.\, s^{-2}$

avec un coefficient de corrélation de 0,99.

$$Sv^2 = 5{,}15 \,.\, 10^{-5}\ Ulv - 0{,}114 \qquad [23]$$

avec un coefficient de corrélation de 0,98.

Ces corrélations sont statistiquement très significatives, ce qui est certainement assez étonnant, considérant les approximations admises par le calcul. Elles nous engageait cependant à vérifier la validité de l'équation [21] sur des données autres que les nôtres.

Nous avons pour cela utilisé les données expérimentales de Bradstreet (14). Cet auteur donne une liste de 41 valeurs expérimentales, obtenues par soudage sous flux pour des valeurs de paramètres extrêmement variables : la vitesse de soudage varie entre 15 et 250 cm/mn, l'intensité entre -25 et 1 400 A et les sections fondues entre 0,15 et 3,2 cm^2. Le soudage était réalisé sans chanfrein.

Ces résultats sont illustrés sur la *figure 8*. On voit tout d'abord que les valeurs de Ulv varient dans un important intervalle d'environ 1 000 à 80 000 $j \,.\, cm \,.\, s^{-2}$.

D'autre part, on observe qu'aux faibles valeurs de Ulv, la courbe devient parabolique, ce qui est en accord avec l'équation [20]. La linéarité est, comme prévue, vérifiée à partir d'un certain seuil. Ce seuil, qui théoriquement est de l'ordre de 2 000 $j \,.\, cm \,.\, s^{-2}$, est apparemment plus élevé et semble se situer aux environs de 4 000 $j \,.\, cm \,.\, s^{-2}$.

Nous avons donc traité statistiquement les 33 valeurs expérimentales de Bradstreet correspondant aux valeurs de Ulv supérieures à 4 000 $j \,.\, cm \,.\, s^{-2}$. On obtient :

$$Sv^2 = 4{,}77 \,.\, 10^{-5}\ Ulv - 0{,}07 \qquad [24]$$

avec un coefficient de corrélation de 0,99.

Encore une fois, cette corrélation s'avère très satisfaisante et la valeur élevée du coefficient de corrélation s'explique par l'étendue du domaine Ulv. Il est intéressant de comparer nos résultats à ceux obtenus à partir de ces données. Les corrélations [21] et [22] sont donc reportées sur la *figure 8* et l'on observe que la corrélation [23] (Sv^2 pour nos données) est pratiquement confondue avec la droite obtenue à partir des données de Bradstreet.

Cet accord entre les deux systèmes de données est remarquable, car les conditions expérimentales n'ont pu être totalement identiques. Quoi qu'il en soit, les lois de dépendance [22], [23] et [24] prennent un caractère de généralité qu'il sera intéressant de vérifier sur un plus grand nombre de données expérimentales.

On peut aussi comparer les coefficients numériques obtenus avec ceux prédits par le calcul.

Nous avons (voir annexe) :

$$Av^2 = \eta \frac{Ulv}{\rho\ c\ e\theta_f} - 2\ \alpha^2\ \pi$$

η représente le rendement du procédé et, d'après Christensen, il serait de l'ordre de 0,9 à 0,99, nous choisirons la valeur moyenne 0,95 ;

θ est choisi égal à 1 500°C. Si nous prenons la valeur moyenne des trois coefficients trouvés précédemment, on a :

$$4{,}9 \,.\, 10^{-5} = \frac{0{,}95 \times 0{,}24}{\rho\, c \times 2{,}72 \times 1\,500}$$

d'où :

$$\rho\, c = 1{,}15 \text{ cal/cm}^3,$$

valeur proche de la capacité calorifique de l'acier dans le domaine austénitique (les données de Dardel (11) montrent que cette valeur dépend peu de la composition de l'acier et se situe aux environs de 1,2). Enfin, la capacité calorifique de l'acier liquide est également voisine de cette valeur puisque d'après les données de la littérature sur l'enthalpie de l'acier liquide (9), la capacité calorifique du liquide est de l'ordre de 1,3.

Quoique la similarité des capacités calorifiques du métal liquide et de l'austénite (où se propage la chaleur lors de la formation du bain) puisse, dans une certaine mesure, expliquer la concordance de notre valeur expérimentale avec ces données, cet accord reste, en fonction des hypothèses faites, assez surprenant et nous ne pensons pas qu'il soit, jusqu'à preuve du contraire, significatif.

Enfin, la valeur expérimentale ($\sim$ 0,1) du terme constant correspond à $\alpha = \simeq 0{,}12$, approximativement le double de la diffusivité thermique dans l'austénite. Ceci n'est pas étonnant, car il est sûr que les mouvements convectifs du bain participent de façon importante au transfert de la chaleur.

Enfin, il convient de souligner que les résultats obtenus ici traduisent très bien la dépendance souvent remarquée entre la section fondue, l'énergie linéaire et la vitesse de soudage. Il ne semble pas cependant que la relation ici trouvée ait été dégagée et la plupart des auteurs se sont attachés à rechercher des corrélations plus empiriques. En particulier :

Jackson (16) observe une relation du type :

$$\log A = 0{,}9 \log \left(\frac{I}{V}^{1{,}716} \right) - 3{,}95 \qquad [25]$$

et la dispersion observée reste importante.

Bradstreet (14), qui pourtant se réfère aux travaux de Christensen, propose pour sa part :

$$\log A = 1{,}25 \log UI \times v^{-2/3} + Cte \qquad [26]$$

relation qui ne se ramène évidemment pas aux relations ici proposées.

Nous ferons enfin une dernière remarque concernant les droites présentées sur la *figure 7*. Quoique dans les deux cas les coefficients de corrélation (pour Av^2 et Sv^2) soient très significatifs, la dispersion est cependant plus importante pour Sv Av². Ceci est probablement dû aux var dépôt, lequel est surtout subordonné à l'ir soudage. Une corrélation entre le volume déposé par l'électrode et l'énergie de soud ce qui est normal, très dispersée.

Conséquences pratiques.

Une première et importante conséqu tique est que la connaissance simultanée c fonction de Ulv) et des caractéristiques de met de calculer la dilution du métal de b le métal fondu, quantité importante car e tionne en grande partie la composition ch métal.

Une deuxième conséquence, égaleme tante, met en évidence la dépendance de l du procédé en fonction des paramètres de En effet, l'énergie utile de procédé (à différ rendement) n'est finalement que celle utilis mer une section fondue A à l'interface pièces.

On a d'après l'équation [22] :

$$A = 4{,}81 \,.\, 10^{-5} \frac{UI}{v} - \frac{0{,}114}{v^2}$$

traduisant la dépendance du volume fondu timètre de soudure en fonction de l'énergie L'énergie fournie sera donc bien mieux util des vitesses de soudage importantes ; à (v ∞), on a :

$$A = 4{,}81 \,.\, 10^{-5} \frac{UI}{v}$$

L'énergie utile peut être calculée en é quantité de chaleur nécessaire à la fusion c tion A par cm de soudure. Utilisons les val nues (15) pour l'enthalpie de l'acier liquide

$$h_\theta - h_{20} = (0{,}189\ \theta + 28) \text{ cal/g}.$$

et la densité de 7 g/cm³ pour le métal li obtient :

$$h_\theta - h_{20} = (0{,}189 \times 1\,520 + 28) \times 7 \times 4{,}18 = 9$$

d'où :

$$Eu = 9\,230 \times A \text{ joules}$$

qui entraîne :

$$\frac{E_U}{UI/v} = 45\ \%$$

« rendement » limite (et excellent pour un de fusion) qui ne pourra être dépassé.

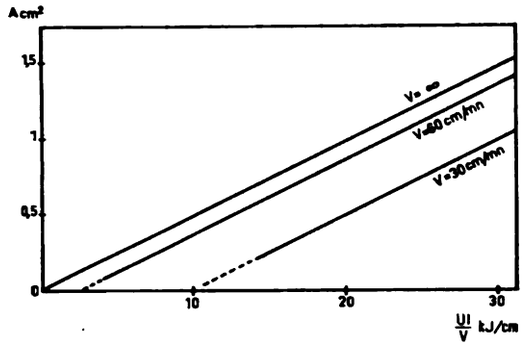


Figure 9. — Détermination de l'aire de la section fondue. Cas pratique.

L'importance de la vitesse peut être d'autre part mise en évidence sur de simples exemples numériques. Supposons que l'on veuille obtenir des sections fondues de 1 et 2 cm² (cas courants) avec des vitesses de soudage de 30 ou 60 cm/mn.

La même section fondue de 2 cm² sera obtenue à v = 30 cm/mn avec une énergie linéaire de 51 kJ/cm et pour v = 60 cm/mn avec une énergie de 44 kJ/cm. Gain appréciable donc, à la fois sur la rapidité de l'opération et sur son coût d'énergie.

Une section fondue de 1 cm² sera obtenue avec 23 kJ/cm (v = 60 cm/mn) et 31 kJ/cm (v = 30 cm/mn), où la différence de rendement est encore plus importante que dans le cas précédent.

Ces calculs peuvent s'effectuer graphiquement, la nature des relations trouvées permettant leur représentation sous une forme simple illustrée sur la *figure 9*.

CONCLUSION

On voit que l'application de traitements théoriques aux phénomènes thermiques intervenant dans les joints soudés peut être étendue de façon significative.

Le traitement présenté en première partie, semi-quantitatif il est vrai, est particulièrement intéressant, car il permet de s'affranchir des limitations imposées par le calcul exact. Le domaine des pièces moyennement épaisses, par exemple, peut être exploré de la même façon que les autres domaines ; d'autre part, des conditions géométriques plus complexes, souvent inaccessibles à la méthode des sources ponctuelles, peuvent également être étudiées.

Remerciements.

Les auteurs tiennent à exprimer leurs remerciements à la Communauté Européenne du Charbon et de l'Acier pour son support financier et à MM. Fouquet et Roland pour le soin qu'ils ont apporté à la réalisation des expériences.

bibliographie

1 LAFRANCE (M.), PRUDHOMME (M.), MURRY (G.), CONSTANT (A.). — *Rev. Métallurg.*, 65, n° 6 (juin 1968), 417-425.

2 ROSENTHAL (D.). — *Welding J.*, 20, n° 5 (1941), 220 s-234 s.

3 ADAMS Jr (C.M.). — *Welding J.*, 37, n° 5 (1958), 210 s-215 s.

4 JHAVERI (P.), MOFFAT (W.G.), ADAMS Jr (C.M.). — *Welding J.*, 41, n° 2 (1962), 12 s-16 s.

5 CHRISTENSEN (N.), DAVIES (V. de L.), GJERMUNDSEN (K.). — *British Weld. J.*, 12, n° 2 (1965), 54-75.

6 MYERS (P.S.), UYEHARA (O.A.), BORMAN (G.L.). — Weld. Res. Council Bull. n° 113. the Welding Research Council of the Engineering Foundation, New York (1967).

7 RYKALINE (.N.). — *Soud. Tech. Conn.* 15, n° 1/2 (1961), 5-35.

8 ROSE (A.). — *Stahl und Eisen*, 86, n° 11, 663-672. (Traduction CDS, *C.I.T.* du CDS, n° 11 (1966), 2 419-2 440.

9 BASTIEN (P.G.) DOLLET (J.), MAYNIER (Ph.). — *Met. Constr. Brit. Weld. J.*, 2, n° 1, 9-14.

10 MAYNIER (Ph.) MARTIN (P.F.), BASTIEN (P.). — *Soud. Tech. Conn.*, 20, n° 3/4 (1966), 197-218.

11 DARDEL (Y.). — La transmission de la chaleur au cours de la solidification du réchauffage et de la trempe de l'acier. Editions de la Revue de Métallurgie, Paris (1964).

12 BERNARD (G.), CHEVIET (A.), MURRY (G.). — Rapport IRSID P 131, 1971, à paraître dans la *Revue de Métallurgie*.

13 PROKHOROV (N.N.), PROKHOROV (N. Nikol). — Institut International de la soudure, Comm. IX, Doc. 666-69.

14 BRADSTREET (B.J.). — *Welding J.*, 48, n° 11 (1969), 499 s, 504 s.

15 Basic open hearth steelmaking, 2e édition, AIME, New York (1951).

16 JACKSON (C.E.). — *Welding J.*, 39, n° 6 (1960), 225 s, 230 s.

ANNEXE

CALCUL DE L'ISOTHERME DE FUSION

Equation générale.

L'équation de Rosenthal s'écrit :

$$\theta = \frac{Q}{2\,\pi\,k}\;\frac{e^{-\,v/2\alpha\,[\sqrt{u^2+r^2}\,-\,u]}}{\sqrt{u^2+r^2}} \qquad [30]$$

u et r étant définis comme sur le schéma de la *figure 10*.

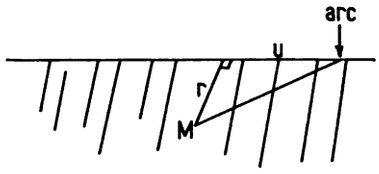


Figure 10. — Coordonnées d'un point du métal. (illustration schématique).

Le rayon maximum de l'isotherme de fusion $\theta = \theta_f$ s'obtient en écrivant :

$$\theta = \theta_f \quad \text{et} \quad \frac{\delta\, r_f}{\delta\, u} = 0.$$

On obtient alors le système suivant :

$$[S]\quad \begin{cases} \theta = \dfrac{Q}{\theta\,\pi\,k}\;\dfrac{e^{-\,v/2\alpha\,[\sqrt{u^2+r^2}\,-\,u]}}{\sqrt{u^2+r^2}} & [31] \\[2ex] \dfrac{u}{u^2+r^2} = \dfrac{v}{2\,\alpha}\left[1 - \dfrac{u}{\sqrt{u^2+r^2}}\right] & [32] \end{cases}$$

Posons :

$$u = \rho \cos \varphi$$

$$r = \rho \sin \varphi$$

Le système [S] devient :

$$[SI] \begin{cases} \theta_f = \dfrac{Q}{2 \pi k} \dfrac{e^{-\cos \varphi}}{\rho} & [34] \\ e\,(1 - \cos \varphi) = \dfrac{2 \alpha}{v} \cos \varphi & [33] \end{cases}$$

système dont la solution s'obtient graphiquement et mène au résultat de Christensen.

Nous chercherons ici les conditions auxquelles correspondent les solutions limites de ces équations qui permettent de développer et simplifier ce système, c'est-à-dire le cas où $\cos \varphi \simeq 0$ ($\varphi \simeq 90°$) et $\cos \varphi \simeq 1$ ($\varphi \simeq 0$).

Cas limite $\cos \varphi \simeq 0$.

Le système [SI] devient, développé au premier ordre :

$$\begin{cases} \theta_f = \dfrac{Q}{2 \pi k} \left[\dfrac{1 - \cos \varphi}{e}\right] \\ \rho\,[1 - \cos \varphi] = \dfrac{2 \alpha}{v} \cos \varphi \end{cases} \rightarrow \begin{cases} \theta_f = \dfrac{Qv}{4 \pi k \alpha} \dfrac{[1 - \cos \varphi]^2}{\cos \varphi} \\ \rho\,(1 - \cos \varphi) = \dfrac{2 \alpha}{v} \cos \varphi \end{cases}$$

où :

$$\theta \cos \varphi \simeq \frac{Q\,v}{4 \pi k \alpha} [1 - 2 \cos \varphi] \qquad [35]$$

$$\cos \varphi \left[\theta + \frac{Q\,v}{2 \pi k \alpha}\right] = \frac{Q\,v}{4 \pi k \alpha} \qquad [36]$$

$$\cos \varphi = \frac{Qv/4 \pi k \alpha \theta_f}{1 + Qv/2 \pi k \alpha \theta_f} \qquad [37]$$

D'où il ressort que $\cos \varphi \simeq 0$ correspond au cas :

$$Qv << 4 \pi k \alpha \theta_f .$$

Nous n'insisterons pas sur cette limite de la solution correspondant aux faibles énergies ($Ulv < \simeq 1\,500$ $j.cm.s^{-2}$). Notons cependant que l'on obtient alors, si A représente l'aire de la section fondue :

$$Av^2 = \frac{\pi\,(Ulv)^2}{8\,(\pi\,k\,\theta_f)^2} \qquad [38]$$

signifiant qu'aux faibles valeurs du produit Ulv la quantité Av^2 est proportionnelle à $(Ulv)^2$, fait vérifié par l'expérience, ainsi que nous l'avons vu.

Cas limite cos $\varphi \simeq 1$.

Ce cas sera traité de la même façon ; notons cependant qu'il correspondrait au cas où l'isotherme de fusion atteint son rayon maximum. Nous développons cette solution au second ordre.

Reprenons le système S sous la forme :

$$[S\ II] \begin{cases} \theta_f = \dfrac{Q}{2\,\pi\,h\,e\,\rho}\, e^{1-\cos\varphi} & [39] \\ \rho\,(1 - \cos\varphi) = \dfrac{2\,\alpha}{v}\cos\varphi & [40] \end{cases}$$

Il vient, posant $\varepsilon = 1 - \cos\varphi$,

$$\frac{1}{\rho} = \frac{v}{2\,\alpha}\,[\varepsilon + \varepsilon^2 + \varepsilon^3] \qquad [41]$$

$$\frac{4\,\pi\,k\,e\,\alpha\,\theta_f}{Q\,v} = \varepsilon + 2\,\varepsilon^2 = \lambda. \qquad [42]$$

avec :

$$\lambda = \frac{4\,\pi\,k\,e\,\alpha\,\theta_f}{Q\,v} \qquad [43]$$

On en déduit :

$$\varepsilon = \lambda - 2\,\lambda^2$$

Il apparait donc que le cas envisagé correspond à :

$$Qv >> 4\,\pi\,k\,e\,\alpha\,\theta_f$$

La poursuite des calculs conduit à la relation :

$$Av^2 = Qv\,\frac{\alpha}{k\,e\,\theta_f} - 2\,\alpha^2\,\pi. \qquad [44]$$

équation qui prédit une relation linéaire entre les termes Av^2 et Qv. Notons au passage que la comparaison de cette solution avec la solution graphique du système SI montrerait que l'approximation sera valable (théoriquement du moins) à 10 % près pour $\theta \geqslant \sim 45°$. Ce seuil correspond à $Ulv > \sim 20\,000$ j . cm . s^{-2}. On remarque également qu'à vitesse infinie, A devient proportionnel au terme $\frac{Ul}{v}$, ce qui est obtenu dans le cas des sources infiniment rapides par Rykaline. Cependant, la présence du terme constant dans l'équation [44] revêt, comme nous l'avons vu, une grande importance dans l'application de cette équation.

étude analytique des processus gouvernant le comportement en service des engrenages

R. Tricot, M. Lacoude, B. Champin
Ugine Aciers (Ugine)

Communication présentée aux " Journées Métallurgiques d'Automne 1971 " organisées par la Société Française de Métallurgie.

INTRODUCTION

La tenue en service des ensembles mécaniques composés de pièces telles que les engrenages dépend d'un grand nombre de facteurs et n'était appréciée, il y a quelques années encore, qu'au moyen d'essais au banc conduits sur ensembles mécaniques complets. Ces essais « en vraie grandeur » sont longs à exécuter et nécessitent des moyens considérables ; ils sont, dans certains cas, trop synthétiques et conduisent de ce fait à des résultats difficiles à interpréter.

Suivant en cela l'évolution actuelle, nous allons montrer qu'il est possible, par des essais de laboratoire bien choisis et représentatifs des principaux modes de sollicitation des engrenages, d'aborder l'étude du comportement en service de ces pièces. L'avantage de ces essais réside dans leur caractère analytique qui autorise l'étude des propriétés des engrenages cas par cas. Ces essais de laboratoire sont donc complémentaires des essais au banc qu'ils n'excluent pas ; au contraire, ils doivent normalement les précéder, les orienter et, de ce fait, les alléger considérablement.

C'est ainsi que dans le cadre d'une action concertée de la DGRST, nous avons été en mesure de préciser sur la nuance 20 NCD 2 cémentée, l'effet de deux familles de paramètres métallurgiques (élaboration, traitement thermique) et de deux familles de paramètres techniques (usinage, traitement de surface) sur les processus de détérioration des engrenages, gouvernés par les phénomènes de ténacité, de frottement, de fatigue « dans la masse » et de fatigue « superficielle ».

Après avoir précisé le cadre de notre étude, nous dresserons, pour chaque propriété, le bilan des résultats obtenus ; nous montrerons ensuite comment ce travail nous a amenés à établir quelques règles générales concernant la fabrication des engrenages.

CADRE DE L'ÉTUDE

Conformément au schéma donné au *tableau I*, nos essais nous ont permis de préciser l'effet de deux familles de paramètres métallurgiques (élaboration, traitement thermique) et de deux familles de paramètres techniques (usinage, traitements de surface) sur quatre propriétés essentielles des engrenages, conditionnant le comportement en service de ces pièces.

TABLEAU I : Cadre de l'étude. Paramètres étudiés et moyens d'essais.

Effet de → sur ↓	Paramètres métallurgiques		Paramètres techniques	
	Elaboration	Traitement thermique	Usinage	Traitement de surface
	1 — AB	1. Trempe directe	1. Fraisage	1. Néant
	2 — RSV	2. Surcarburation	2. Shaving	2. Phosphatation Zn. Fe
		3. Passage au froid	3. Rectif.	3. Sulfuration sulf. BT
		4. Trempe sèche		
		5. Trempe différée		
Propriétés des engrenages	1 - Résistance aux surcharges (essai de fissuration sous choc)			
	2 - Aptitude au rodage (essai de frottement Faville)			
	3 - Résistance à la fatigue en pied de denture (essai en flexion rotative)			
	4 - Résistance à la fatigue superficielle (essai de roulement et glissement)			

Ces quatre propriétés essentielles sont :

— *la résistance aux surcharges :* appréciée par l'essai de fissuration sous choc ;

— *l'aptitude au rodage :* appréciée par l'essai de frottement à la machine Faville ;

— *la résistance à la fatigue en pied de denture :* appréciée par l'essai conventionnel de fatigue en flexion rotative ;

— *la résistance à la fatigue superficielle* (ou résistance à l'écaillage) : appréciée par l'essai de roulement et glissement.

Ces quatre techniques d'essai, représentatives des quatre propriétés énoncées, nous ont permis de préciser l'effet des paramètres suivants :

Mode d'élaboration.

Deux modes d'élaboration ont été retenus : l'élaboration conventionnelle au four à arc de revêtement basique et la refusion sous vide (le métal conventionnel a servi de mise de refusion pour le métal refondu étudié). Dans les deux cas, il s'agit d'une élaboration à grain contrôlé.

Traitement thermique.

Cinq types de traitement ont été retenus, reprenant des traitements habituels et des traitements simulant certains incidents de fabrication ; le détail en est le suivant :

Trempe directe.

Cémentation à 925°C sous un potentiel carbone de 0,85 % + descente à 840°C + TH 20°C + détente 1 h à 180°C. Il s'agit donc du traitement le plus habituel pour ce type de nuance, compte tenu de l'élaboration à grain contrôlé que nous avons retenue.

Surcarburation.

Traitement identique à la trempe directe mais avec cémentation sous atmosphère surcarburante présentant un potentiel carbone de 1,1 %.

Passage au froid.

Traitement identique à la trempe directe mais avec interposition d'un maintien de 1 h à — 80°C de déstabilisation de l'austénite résiduelle entre la trempe et le revenu de détente.

Trempe sèche.

Traitement identique à la trempe directe mais sans le revenu de détente de 1 h à 180°C.

Trempe différée.

Cémentation à 925°C sous un potentiel carbone de 0,85 % + descente lente jusqu'à l'ambiante + austénitisation à 860°C + TH 20°C + détente 1 h à 180°C. Il s'agit donc du traitement de simple trempe, après cémentation suivie d'un refroidissement lent à l'ambiante sous atmosphère.

durées de cémentation ont été ajustées de à corriger l'effet des différences de cycle ther- et de potentiel carbone sur la profondeur e de cémentation. Pratiquement, la durée de tation a varié de 4 à 6 h suivant les séries ; ainsi possible d'obtenir dans tous les cas une deur efficace de cémentation constante et voi- e 1 mm.

ge.

is états de surface ont été retenus pour la pré- n de nos éprouvettes : l'état fraisé, l'état shavé at rectifié. Une longue mise au point nous a d'obtenir des méthodes d'usinage permettant nuler la fabrication industrielle, tant du point e de l'orientation des défauts de surface que int de vue de leur amplitude (rugosité). Prati- nt, ces trois états de surface se caractérisent int de vue de la rugosité des éprouvettes de la suivante (rugosité CLA) :

	R_t (μ)	R_a (μ/mm)
fraisé	15 à 20	2,8 à 3,1
shavé	5 à 7	1,1 à 1,3
rectifié	1 à 2	0,3 à 1

ments de surface.

ux traitements de surface ont été retenus : hatation Zn Fe et sulfuration suivant le procédé T et HEF (on notera que ce dernier traitement tiquant à 190°C a tenu lieu de revenu de détente es éprouvettes concernées).

si, comme il est indiqué sur le *tableau I*, quatre ques d'essai nous ont permis de préciser l'effet de d'élaboration, du traitement thermique et de tation, du mode d'usinage et de différents trai- ts de surface, sur le comportement en service ngrenages. Il est à noter que nous n'avons que les combinaisons de ces différents para- qui nous paraissaient les plus intéressantes. ticulier, les quatre paramètres soulignés corres- nt à l'état de référence autour duquel nous construit notre grille d'essai :

boration conventionnelle compte tenu du type pièces auquel l'acier 20 NCD 2 est généra- nt réservé ;

mentation avec trempe directe compte tenu de laboration à grain contrôlé retenue ;

— état de surface fraisé ;

— absence de traitement de surface.

C'est ainsi, par exemple, que nous avons précisé l'effet du traitement thermique sur des éprouvettes fraisées dans du métal d'élaboration conventionnelle, non soumises à un traitement de surface. Il en est de même pour l'élaboration, l'usinage et les traitements de surface, ce qui conduit pour chacune des quatre propriétés d'emploi étudiées, à 11 combinaisons, compte tenu du fait que l'acier refondu sous vide a été étudié à la fois à l'état fraisé et rectifié.

RÉSULTATS

Le cadre de notre étude ainsi précisé, nous allons maintenant dresser pour chaque propriété (c'est-à-dire pour chaque technique d'essai), le bilan de nos résultats, en ne prenant en considération que les plus essentiels d'entre eux.

Résultats d'essais de fissuration sous choc.

En service normal, les ensembles mécaniques comportant des engrenages, tels que boîtes de vitesses, ponts, réducteurs, sont soumis à des surcharges qui résultent, soit des conditions de travail, par exemple une variation brutale de la puissance et du couple transmis, soit de leur fonction même, par exemple un ensemble différentiel.

A la limite, ces surcharges se traduisent par de véritables chocs ; la ténacité du métal traité traduit dans une certaine mesure la capacité de résistance aux surcharges de l'organe. Cette ténacité est généralement appréciée par l'essai de résilience qui mesure l'énergie de rupture d'une éprouvette de type donné. Dans le cas des matériaux à hautes caractéristiques, par exemple les pièces cémentées, l'essai de résilience conduit à des valeurs de ténacité trop faibles et non significatives ; la ténacité peut alors être repérée par un essai du même genre mais fournissant des renseignements plus complets. Cet essai consiste (fig. 1) à frapper une éprouvette présentant l'allure d'une dent d'engrenage par un mouton-pendule dont la partie active est un marteau à faces planes équipé d'un système extensométrique. En pratique, l'installation présente l'aspect visible sur la *figure 2*. Il est ainsi possible (fig. 3), pendant la rupture de l'éprouvette, d'enregistrer, à l'aide d'un oscilloscope à mémoire, la courbe effort-temps (fig. 4). L'enregistrement ainsi obtenu permet, après étalonnage, de mesurer l'effort nécessaire à l'amorçage de la première fissure et la vitesse de propagation de cette fissure. Par ailleurs, comme dans l'essai de résilience, on peut également mesurer l'énergie de ruptude de l'éprouvette. Toutefois, seul l'effort d'amorçage de la première fissure est pris en considération pour caractériser la ténacité du métal ; en effet, dans

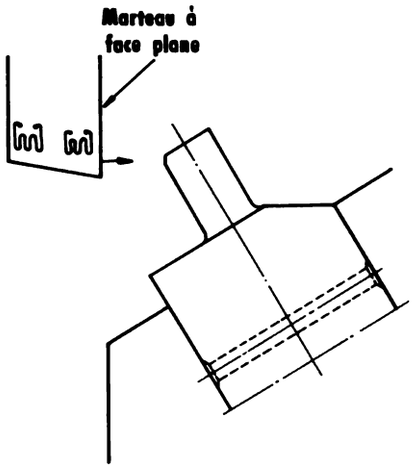


Figure 1. — Principe de l'essai de fissuration sous choc.

Figure 2. — Essai de fissuration sous choc. Vue de de l'appareillage : marteau et éprouvette.

le cas des aciers à hautes caractéristiques, la vitesse de propagation des fissures est généralement très faible, de sorte que l'énergie de rupture ne suffit pas à caractériser cette ténacité.

A l'aide de cet essai particulier, nous avons pu établir les résultats consignés au *tableau II*. Les plus importants sur le plan pratique sont les suivants :

— La refusion sous vide n'améliore pas les propriétés de ténacité (comparer les séries 1 et 5 d'une part et 2 et 11 d'autre part). Il est essentiel de souligner toutefois que ceci s'explique par le fait que ces résultats sont relatifs à des éprouvettes prélevées dans le sens de laminage et ne doivent pas être étendus au cas d'éprouvettes travers.

— L'état de surface présente un effet déterminant : c'est ainsi que par rapport à l'état de référence fraisé (séries 2 et 11), on observe qu'une bonne préparation mécanique, par exemple une rectification (séries 1 et 5), ou une bonne préparation chimique indirecte, comme celle qui précède le traitement de Sulf BT (série 4), s'avèrent très favorables.

— Le traitement thermique influe notablement sur la ténacité de l'acier : en particulier, un traitement surcarburant, et surtout les traitements trempe sèche et de passage par le froid, s'avèrent très défavorables ; au contraire, le traitement de trempe différée améliore la ténacité par affinage du grain. En résumé, surcarburation et traitement par le froid de déstabilisation de l'austénite résiduelle dégradent les propriétés de ténacité de l'acier 20 NCD 2 cémenté ; au contraire, revenu de détente et traitement de trempe différée l'améliorent.

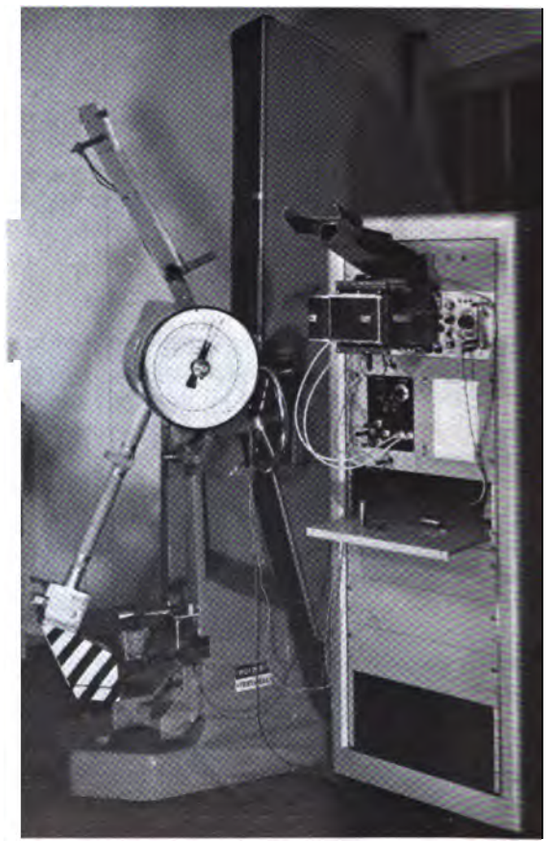


Figure 3. — Essai de fissuration sous choc. Vue d'ens de l'appareillage : mouton-pendule et électronique

BLEAU II : Synthèse des résultats de fissuration sous choc.

Série	Elaboration	Usinage	Traitement	Résultats				
				Traitement surface	F (kg)	Δ sup. Rc	d cém 1/10 mm	AR %
1	AB	Fraisé	Trempe directe	Rectification	5540	61,5	9	23
2	AB	»	»	—	4880	61	11	12
3	AB	»	»	Phosphatation	4420	61,5	11	25
4	AB	»	»	Sulfure BT	5410	60	10	23
5	RSV	»	»	Rectification	5525	60,5	8	20
11	RSV	»	»	—	4860	61,5	10	12
7	AB	»	Surcarburation	—	4710	61	12	56
8	AB	»	Passage au froid	—	4280	62	10	10
9	AB	»	Trempe sèche	—	4370	66	11	21
10	AB	»	Trempe différée	—	5625	60	12	5

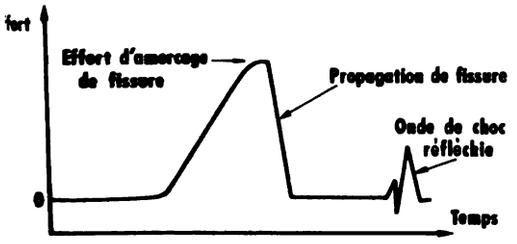


DIAGRAMME D'EFFORT ENREGISTRÉ A L'OSCILLOSCOPE (durée totale 100 à 250 μsec.) SUR ACIER A HAUTE RESISTANCE.

Figure 4. — Essai de fissuration sous choc. Interprétation du diagramme obtenu.

— La phosphatation présente un effet très défavorable qui s'explique vraisemblablement par le caractère incisif de la corrosion chimique des bains employés.

— Enfin, en comparant les résultats des séries 8 et 9, on peut remarquer un effet favorable de l'austénite résiduelle. A une dureté plus grande de la série en trempe sèche correspond néanmoins une meilleure ténacité.

Résultats d'essais de frottement à la machine Faville.

La mise en service d'ensembles mécaniques s'opère généralement de façon progressive pendant le rodage. Au cours de cette phase transitoire, les surfaces de travail sont le siège de transformations épidermiques qui conditionnent en partie le comportement ultérieur de tout l'ensemble mécanique. Dans le cas des engrenages, les dégradations superficielles induites par frottement prennent une importance primordiale, compte tenu de la nature et des conditions de travail de ces pièces : roulement pur au niveau du diamètre primitif, roulement et glissement de part et d'autre. Il est donc intéressant de caractériser le comportement en frottement des surfaces de travail de ces pièces ; ceci peut être réalisé sim-

Figure 5. — Essai Faville. Vue partielle de l'appareillage : éprouvette et mors.

Figure 6. — Essai Faville. Vue générale de l'appareillage : machine et chaine de mesure.

plement avec la machine Faville. Les essais correspondant sont de courte durée ; avec des conditions expérimentales bien choisies, ils sont susceptibles de renseigner sur les phénomènes superficiels transitoires dont les engrenages sont le siège au moment du rodage. Ces essais consistent (fig. 5) à faire frotter une éprouvette cylindrique entrainée en rotation entre des mors en forme de « V ». Ce dispositif permet de fixer les trois paramètres caractérisant les conditions de frottement (fig. 6).

Vitesse de glissement.

Entre 0 et 1 m/s par l'intermédiaire de la v de rotation de l'éprouvette.

Contraintes de service.

Entre 0 et 250 hbar de contraintes maximale l'intermédiaire de vérins hydrauliques contrôl force d'appui des mors sur l'éprouvette (ces traintes sont calculées par la théorie de Hertz c s'applique qu'au régime statique).

Lubrification.

Par le choix de la nature du lubrifiant et façon de l'appliquer (immersion ou aspersio l'éprouvette).

De cette façon, on peut suivre l'évolution certain nombre de paramètres caractérisant le portement en frottement des couches cémentée nous intéressent ici :

— forces de frottement pour différents nivea contraintes de Hertz ;

— aptitude au rodage par étude de l'évolution rugosité ;

— aptitude au grippage ;

— résistance à l'usure par étude des variatio poids de l'éprouvette ;

— mode de détérioration superficielle de l'acie observations micrographiques et mesures d reté.

Le résultat de ce type d'essai dépend des tions opératoires, notamment de la cinétique de sous contrainte de l'éprouvette et de la durée du d'application de la contrainte. Sans entrer da détail, disons simplement que nous avons cho mode opératoire suivant :

— mise sous contrainte lente de l'éprouvette rant une bonne reproductibilité des essais une non détérioration prématurée de la surfa travail,

— maintien sous contrainte pendant lequel on gistre les forces de frottement en fonctic temps. Chaque éprouvette est soumise à de liers successifs de contraintes croissantes qu'à l'apparition d'une dégradation superfi Par ailleurs, nos essais ont été conduits avec vitesses de glissement croissant dans un r géométrique de raison 4 : 0,06, 0,24 et 0,9 La plus faible de ces vitesses rend compt phénomènes observés au voisinage du prim denture, la plus forte des phénomènes ob en tête et pied de denture. De plus, comme

le verrons ultérieurement, nos essais de roulement et glissement ont été conduits à la même vitesse de 1 m/s, de sorte que nous pourrons effectuer un certain recoupement des résultats établis avec les deux techniques. Enfin, nous avons travaillé sous des conditions de lubrification uniques ; lubrification par immersion dans l'huile minérale pure ASTM n° 1 de viscosité SAE 90 utilisée à 30°C.

Cette technique d'essai nous a permis d'établir un grand nombre de résultats dont les plus importants sont les suivants :

a) Les paramètres métallurgiques, c'est-à-dire mode d'élaboration et conduite du traitement thermique, n'ont qu'un effet très limité sur le comportement en frottement des couches cémentées du 20 NCD 2 ; ce résultat parait normal, compte tenu des phénomènes épidermiques qui interviennent ici.

b) L'état de surface, au contraire, présente une influence déterminante mais complexe :

C'est ainsi qu'une amélioration d'état de surface (c'est-à-dire une diminution de rugosité) se traduit généralement par une amélioration simultanée de plusieurs propriétés de frottement : diminution de l'usure, diminution de l'aptitude au grippage, rodage plus facile, diminution légère du coefficient de frottement.

Toutefois, ces conclusions ne sont plus valables dans le cas des éprouvettes rectifiées qui semblent présenter un comportement en frottement médiocre, en particulier une certaine sensibilité au grippage, pour les fortes contraintes de service et les fortes vitesses de glissement.

En corollaire, d'autres observations conjointes nous ont amenés à constater l'intérêt d'une certaine rugosité résiduelle, qui favorise la lubrification et retarde d'autant l'apparition du grippage. Ce meilleur comportement en frottement des surfaces quelque peu rugueuses est en liaison avec leur meilleure aptitude à conserver le lubrifiant.

En résumé, on obtient pour les trois états de surface étudiés, le classement suivant, par qualité croissante : fraisé, shavé, rectifié. Ce classement doit être corrigé des observations précédentes au sujet de l'état rectifié ; en particulier, l'état shavé semble présenter un comportement satisfaisant pour les fortes vitesses de glissement et les fortes contraintes.

c) Un traitement de surface améliore généralement les propriétés de frottement. Toutefois :

— dans le cas des éprouvettes phosphatées, cette amélioration qui se traduit notamment par un coefficient de frottement plus bas, un rodage très facile et une bonne résistance au grippage, se produit au détriment d'une usure importante, dont les produits nécessairement abrasifs posent en pratique le problème de leur élimination ;

— dans le cas des éprouvettes traitées Sulf BT, cette amélioration n'est sensible que pour les vitesses de glissement moyennes et fortes. Dans ce dernier cas, l'effet favorable se traduit notamment par une remarquable résistance au grippage et un coefficient de frottement diminué de moitié.

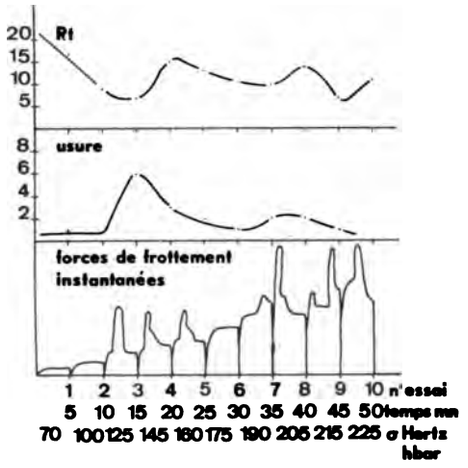
d) Une augmentation de vitesse de glissement entraine une diminution du coefficient de frottement, une diminution de l'usure et, au contraire, un accroissement de l'aptitude au grippage en liaison directe avec l'échauffement superficiel observé dans ce cas.

e) Enfin, nos essais nous ont permis de préciser les conditions nécessaires à un rodage et de mettre en évidence deux types de rodage de nature différente. Il s'agit certainement d'un des résultats les plus intéressants de cette étude. Il permet en effet d'interpréter un certain nombre d'observations effectuées sur les éprouvettes de roulement-glissement. On observe que :

— le rodage n'est efficace qu'au-delà d'un certain seuil de sollicitations ; ceci se traduit par le fait que l'opération de rodage, appréciée par une diminution de rugosité, n'intervient que lorsque l'ensemble mécanique travaille à puissance suffisante ;

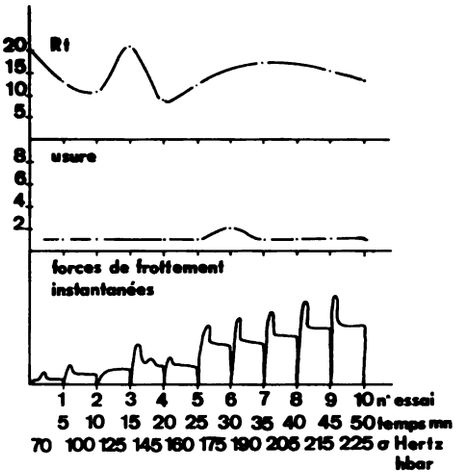
— le rodage s'effectue soit par abrasion à froid dans le cas des faibles vitesses de glissement, soit par transfert de métal et fluage à chaud pour les fortes vitesses de glissement. Pour les vitesses de glissement intermédiaires, il peut s'opérer par un processus mixte (abrasion + transfert).

En effet, on remarque sur la *figure 7 a*, qui est relative à des essais conduits sur une éprouvette fraisée soumise à une faible vitesse de glissement (0,06 m/s), que la diminution de rugosité s'accompagne d'une usure importante : ici le rodage s'opère par abrasion. Au contraire, on observe sur la *figure 7 b*, dans les mêmes conditions mais pour une vitesse de glissement plus élevée (0,24 m/s cette fois), que la diminution de rugosité ne s'accompagne d'aucune usure par perte de poids : dans ce cas le rodage s'est opéré par transfert de métal à chaud, ainsi qu'en témoigne la micrographie de la *figure 8 a* qui révèle en surface, sur une épaisseur de 1 micron environ, une couche blanche parfaitement lisse. Cette couche est constituée d'une martensite très dure (sa dureté dépasse 1 000 unités Vickers), résultant du refroidissement brutal du métal porté à haute température sous l'effet des frottements, et qui a flué des parties les plus en relief vers les parties de dépression. Cette martensite très dure, et donc très fragile, semble être à l'origine de certaines dégradations de pitting ainsi que le laisse supposer la *figure 8 b* où l'on observe une fissure en voie de développement, précisément à la limite du métal de base et du métal rapporté par microsoudage. Nous reviendrons ultérieurement sur ce point. Notons néanmoins pour terminer que ces dégradations superficielles ne s'observent pas dans le cas des faibles vitesses de glissement.



Rodage par abrasion d'éprouvettes fraisées :
VG : 0,06 m/s

Figure 7 a.



Rodage par fluage d'éprouvettes fraisées :
VG : 0,24 m/s

Figure 7 b.

Figure 7. — Résultats d'essais Faville : Influence de la vitesse de glissement.

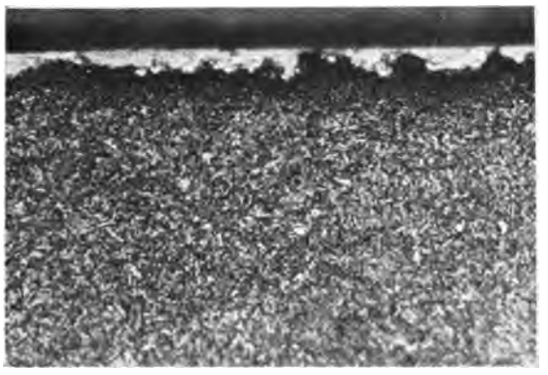


Figure 8 a.

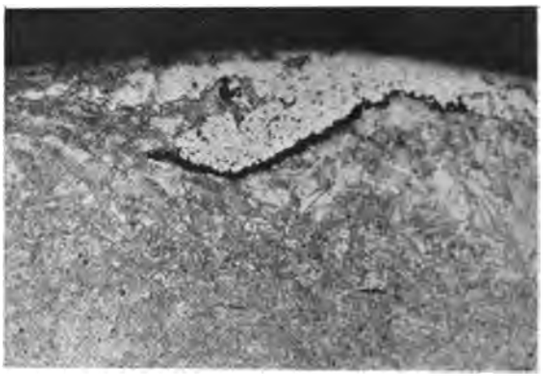


Figure 8 b.

Figure 8. — Rodage par fluage. Zone blanche martensitique et initiation du pitting.

× 500

ABLEAU III : Synthèse des résultats de fatigue en flexion rotative.

Série	Elaboration	Usinage	Traitement	Résultats				
				Traitement de surface	L_f (kg/mm²)	Δ sup Rc	d cém 1/10 mm	AR %
1	AB	Fraisage	Trempe directe	Rectification	69 ∓ 2,5	60	11	19
2	AB	»	»	—	58 ∓ 4,5	62	11	< 3
3	AB	»	»	Phosphatation	61 ∓ 5,5	63	11	17
4	AB	»	»	Sulfure BT	62 ∓ 5	62	12	26
6	AB	Shaving	»	—	71,5 ∓ 6	62	11	< 3
5	RSV	Fraisage	»	Rectification	97 ∓ 3	63	10	17
11	RSV	»	»	—	60 ∓ 3	62	10	20
7	AB	»	Surcarburation	—	60 ∓ 4	60	12	19
8	AB	»	Passage au froid	—	53 ∓ 5,5	64	12	0
9	AB	»	Trempe sèche	—	58 ∓ 2,5	65	12	< 3
10	AB	»	Trempe différée	—	57 ∓ 4,5	62	13	< 3

En corollaire à ces observations qui ont montré n rodage par abrasion à froid pour les faibles itesses de glissement, on peut prévoir que les risues de dégradation par pitting en roulement et glisement croîtront avec la vitesse de glissement. Ainsi ue nous le verrons plus loin, nos expériences confirıent cette hypothèse.

ésultats d'essais de fatigue en flexion rotative.

Les dents d'engrenage sont soumises à des efforts lternés qui se traduisent par des sollicitations de atigue dont l'intensité est maximale en pied de denure. Ces sollicitations peuvent entraîner la mise hors ervice des engrenages par rupture de dent. Les essais de fatigue en flexion rotative donnent une idée précise de la capacité de résistance à la fatigue d'une denture. Cette technique d'essai classique nous a permis d'établir les résultats consignés au *tableau III* (les valeurs de limite de fatigue indiquées ici ont été établies par une méthode de dépouillement statistique inspirée de la méthode des probits ; elles correspondent à la contrainte pour laquelle la probabilité de rupture d'une éprouvette à 100 millions de cycles est de 1/2).

Les résultats qui méritent d'être soulignés sont les suivants :

Le mode d'élaboration a un effet très net : la refusion sous vide améliore considérablement les performances de fatigue de l'acier (pour des éprouvettes rectifiées, séries 1 et 5, la limite de fatigue passe de 69 à 97 hbar). Toutefois, cet écart ne se conserve pas dans le cas des éprouvettes fraisées (séries 2 et 11), une partie de l'effet favorable de la refusion sous vide ayant été annulée par l'effet défavorable d'un mauvais état de surface. En conclusion, la refusion sous vide accroît les performances de l'acier dans des proportions considérables, sous réserve que l'état de surface des pièces soit soigné.

L'état de surface a également un effet déterminant : les éprouvettes shavées, quoique donnant des résultats plus dispersés, présentent un comportement analogue à celui des éprouvettes rectifiées. Par contre, les éprouvettes fraisées ont une résistance médiocre.

Les traitements de surface n'ont pas d'effet significatif.

Les traitements thermiques ont des effets complexes et peu prononcés avec l'état de surface fraisé étudié. Le résultat le plus marquant semble être le mauvais comportement des éprouvettes traitées par le froid (comparer les séries 8 et 2) ; on doit en déduire, semble-t-il, un effet favorable sur le comportement en fatigue d'une certaine quantité d'austénite résiduelle. Ce point est confirmé par les résultats de la série 7 surcarburée.

Résultats d'essai de fatigue en roulement et glissement.

La nature même et le mode de fonctionnement des engrenages font intervenir au niveau de la surface (c'est-à-dire de la couche cémentée dans le cas qui nous intéresse ici) des contraintes superficielles répétées, qui peuvent induire par fatigue des dégradations superficielles limitées ou écaillages. Ce sont en général des contraintes de compression auxquelles sont associées des contraintes de cisaillement dans le cas du roulement pur (primitif de denture), mais il peut s'y ajouter des contraintes de traction dans le cas où le glissement est suffisant (tête et pied de denture).

L'étude de ces processus de dégradation peut être abordée grâce à des techniques d'essai particulières permettant de rendre compte de la résistance à l'écaillage par fatigue des dents d'engrenage. L que nous avons adopté a été mis au point Zahnradfabrik ; il consiste (fig. 9), à faire rou glisser une éprouvette bombée entraînée en r entre trois galets d'appui. Il est possible de séparément les trois paramètres caractérisant c de fatigue :

— la vitesse de glissement : par le choix des vit relatives entre l'éprouvette d'une part et les galets d'autre part ;

— la contrainte de service : par le choix de la d'appui des galets sur l'éprouvette. Cette est contrôlée par une fuite laminaire d'h haute pression amenée par les tubes adu visibles à la partie extérieure du carter);

— les conditions de lubrification : par le choix nature de l'huile de mise en charge de l'é vette (qui assure en même temps la lubrific et par le choix de sa température.

L'installation présente dans son ensemble l' générale visible *figure 10,* où l'on observe 4 p d'essai identiques à celui qui vient d'être déc une armoire regroupant les organes de serv notamment la centrale hydraulique et les sys de filtrage et de stabilisation de la températ l'huile. Ce dispositif permet d'effectuer des ess fatigue en roulement et glissement qui consis apprécier la durée de vie d'une éprouvette un fixées :

— la vitesse de glissement (on a choisi ici 1 m/s),

— la contrainte maximale de Hertz (150 à 350

— les conditions de lubrification (huile minérale ASTM n° 1, thermostatée à 60°C).

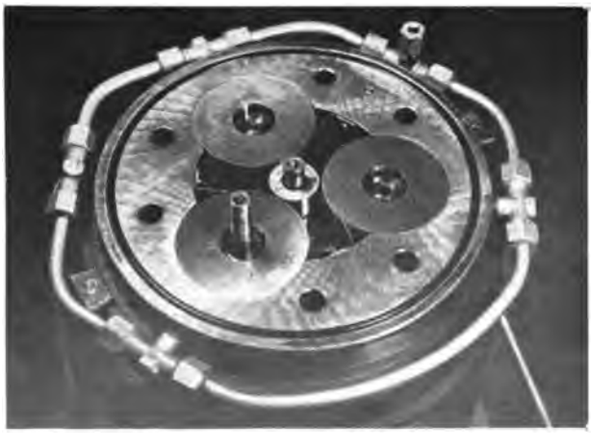


Figure 9. — Essai de roulement-glissement. Vue partielle de l'appareillage : éprouvette et galets.

Figure 10. — Essai de roulement-glissement. Vue de reillage : armoire de commande et quatre postes d'

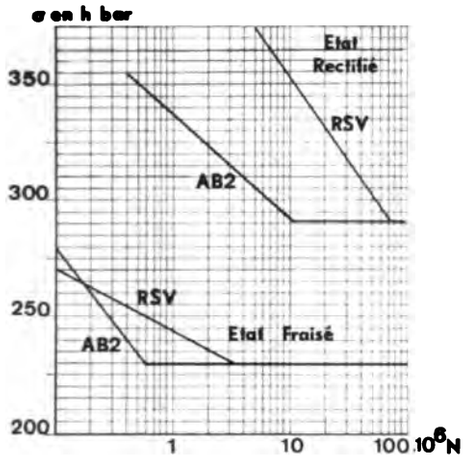


Figure 11 a. — Influence du mode d'élaboration.

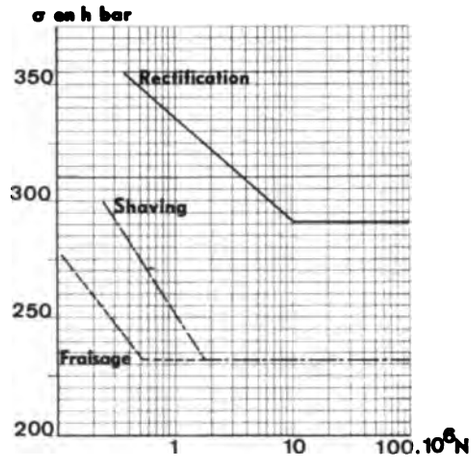


Figure 11 b. — Influence de l'état de surface.

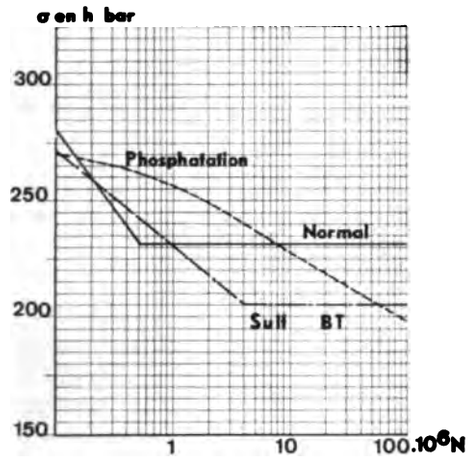


Figure 11 c. — Influence des traitements de surface.

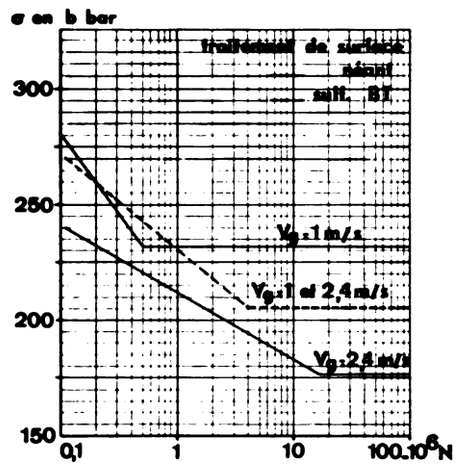


Figure 11 d. — Effet combiné du traitement de sulf. BT et de la vitesse de glissement.

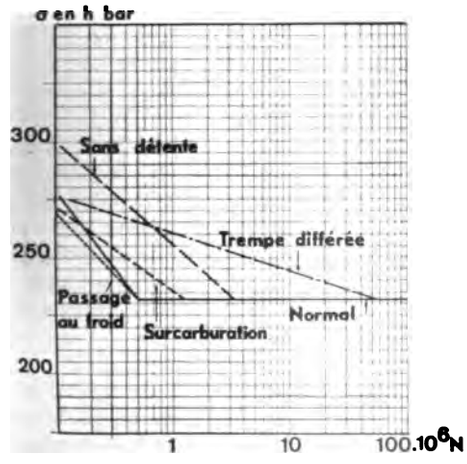


Figure 11. — Résultats d'essais de roulement-glissement. Influence de divers paramètres.

Figure 11 e. — Influence du traitement thermique.

La durée de vie est le temps qui s'écoule entre le début de l'essai et l'apparition du premier écaillage, repéré par un détecteur à inertie porté par l'axe de l'un des trois galets d'appui. Comme dans les essais de fatigue conventionnelle, il est donc possible de tracer les courbes de Wöhler et de définir une limite de fatigue relative à la résistance à l'écaillage, qui correspond à la contrainte maximale de Hertz en dessous de laquelle il n'apparaît pas de dégradations superficielles pour les durées d'essai inférieures ou égales à 100 millions de cycles. Avec ce dispositif d'essai, il nous a été possible d'établir un certain nombre de résultats, dont les plus significatifs sont schématisés sur les figures suivantes :

Effet de la méthode d'élaboration (fig. 11 a) :

La refusion sous vide apporte une amélioration considérable des performances de fatigue, surtout dans le cas d'éprouvettes présentant un état de surface soigné (rectification). Bien que la limite de fatigue ne soit pas modifiée, cette amélioration se traduit par un accroissement très important de la durée de vie qui est d'autant plus marqué que les contraintes de service sont plus élevées et qui correspond à un facteur multiplicatif compris entre 7 et 20. On notera que nous confirmons ici un résultat important déjà mis en évidence par les essais de fatigue en flexion rotative : l'amélioration intrinsèque considérable des performances de fatigue de l'acier apportée par la refusion sous vide ne se répercute sur les pièces qui si leur état de surface est soigné.

Effet de l'état de surface (fig. 11 b) :

De même un usinage soigné améliore dans des proportions considérables les performances de fatigue. A cet égard, la rectification élève très fortement les valeurs de limite de fatigue et permet de multiplier par 30 la durée de vie moyenne, par référence à l'état shavé. Les éprouvettes shavées présentent à leur tour une durée de vie environ 4 fois supérieure aux éprouvettes fraisées.

Effet des traitements de surface (fig. 11 c) :

Les traitements de surface ont un effet complexe : ils améliorent la durée de vie moyenne pour les fortes contraintes de service, mais conduisent à des valeurs de limite de fatigue inférieures. Bien qu'assez largement pratiqués, ils ne semblent donc intéressants que pour les engrenages fortement sollicités pour lesquels la rectification semble très souhaitable (fig. 11 d).

Effet du traitement thermique (fig. 11 e) :

Par rapport à l'état de référence en trempe directe on peut noter :

— une différence très faible avec le traitement par le froid, plutôt défavorable, et le traitement de surcarburation, plutôt favorable. Ces constatations laissent supposer une nouvelle fois une influence bénéfique de l'austénite résiduelle ;

— un effet favorable de la trempe sèche en liaison avec des propriétés mécaniques supérieures de la couche cémentée et un effet favorable de la trempe différée en liaison avec l'affinage de grain correspondant à ce traitement.

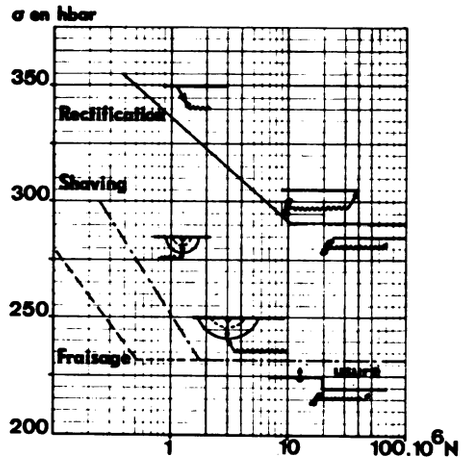


Figure 12. — Schéma des différents mécanismes de propagation des fissures et d'apparition des écaillages en roulement-glissement.

Ce tour d'horizon rapide et global étant fait, nous allons caractériser les défauts de surface les plus habituels et montrer comment ils se développent.

En nous appuyant sur la représentation schématique de la *figure 12*, on peut expliquer cas par cas l'origine et le développement des défauts, compte tenu de la vitesse de glissement relativement élevée adoptée pour ces essais. Commençons tout d'abord par l'état rectifié :

Aux plus fortes contraintes d'essai correspondent des valeurs de contraintes de traction relativement importantes en regard des contraintes de cisaillement. Sous l'effet de ces deux familles de sollicitations se développent des fissures à partir de défauts superficiels (contraintes de traction) ou internes (contraintes de cisaillement). La vitesse de propagation des fissures liées aux contraintes superficielles de traction est plus grande ; l'écaillage progresse donc en s'approfondissant à partir d'une amorce superficielle ainsi qu'en témoigne la coupe micrographique de la *figure 13 a*. Macrographiquement, les défauts se développent en éventail (fig. 13 b).

Aux plus faibles contraintes d'essai, c'est-à-dire au voisinage supérieur de la limite de fatigue, les contraintes de traction cessent d'être dominantes et

Figure 13 a.

× 50

Figure 13 b.

× 2

Figure 13. — Eprouvettes rectifiées. Fortes contraintes : écaillages en éventail.

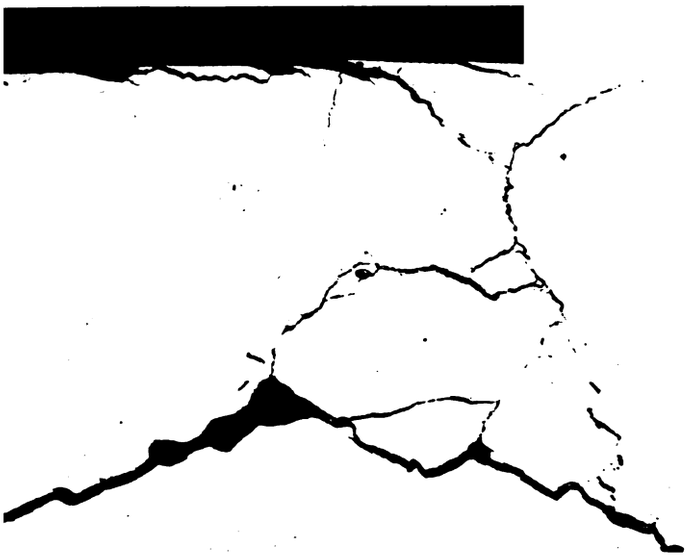


Figure 14 a.

× 100

Figure 14 b.

× 2

Figure 14. — Eprouvettes rectifiées. Contraintes peu supérieures à la limite de fatigue : case crushing.

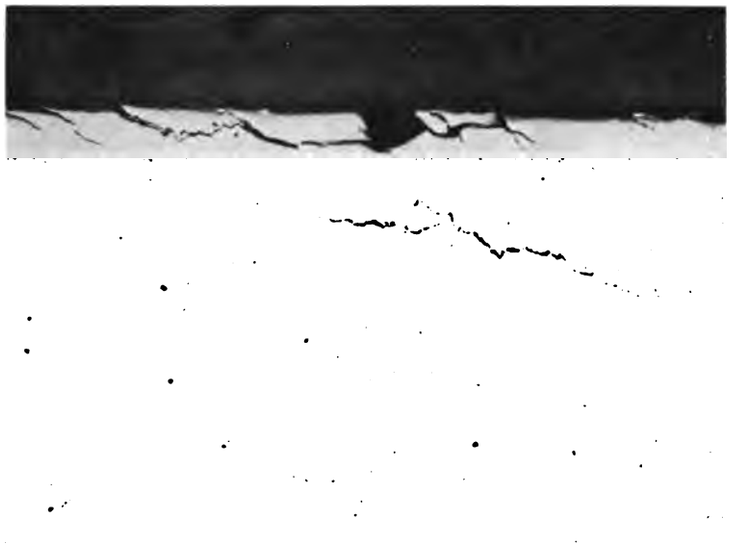


Figure 15 a.

× 100

Figure 15 b.

× 2

Figure 15. — Eprouvettes shavées. Contraintes moyennes : fissures en surface et en profondeur.

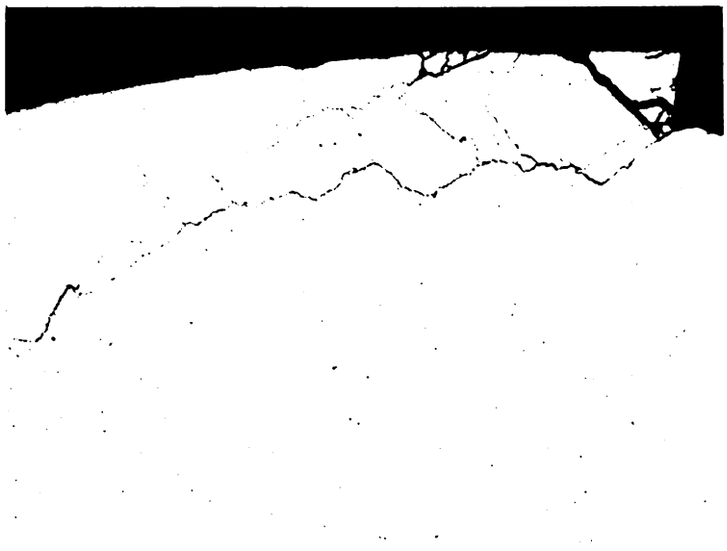


Figure 16 a.

× 20

Figure 16 b.

× 2

Figure 16. — Eprouvettes shavées. Faibles contraintes peu supérieures à la limite de fatigue : **case crushing**.

Figure 17. — Aspect de la piste de roulement après 10^5 cycles. Contrainte inférieure à la limite de fatigue.

× 2

Figure 18. — Modification de la structure après 10^8 cycles. Inclusion décorée d'un « papillon ».

× 500

même suffisantes pour amorcer des défauts. Ceux-ci prennent naissance à partir de fissures internes, liées aux contraintes de cisaillement, et ayant lentement progressé vers la surface (fig. 14 a). Il s'agit d'écailles développées en carré (fig. 14 b). Les durées d'essai prolongées sont susceptibles, dans ce cas, de provoquer des transformations locales de structure, notamment autour des inclusions, avec formation de papillon.

Au voisinage inférieur de la limite de fatigue, on observe le même phénomène ; toutefois, la durée d'essai retenue (100 millions de cycles) n'a pas été suffisante pour que la fissure interne débouche en surface. Il n'y a pas d'écaillage dans ce cas.

Prenons cette fois l'exemple des éprouvettes shavées et fraisées. Ici, aux phénomènes déjà décrits, s'ajoute celui du pitting résultant du rodage par transfert de métal à chaud auquel nous avons déjà fait allusion.

Pour des contraintes d'essai relativement faibles, voisines de la limite de fatigue des éprouvette rectifiées, et pour des durées de vie très courtes, on assiste à un développement rapide des trous formés par le détachement de particules de martensite fragile. Ces trous rejoignent rapidement les courtes fissures internes développées sous l'effet des contraintes de cisaillement (fig. 15 a). Par suite du développement rapide de ces petits trous, l'écaillage intervient prématurément, ce qui a pour effet d'abaisser considérablement la limite de fatigue. L'écaillage se développe cette fois en petits rectangles verticaux (fig. 15 b).

Aux plus faibles contraintes, c'est-à-dire au voisinage supérieur de la limite de fatigue des éprouvettes fraisées, les contraintes de traction deviennent moins prépondérantes et l'écaillage résulte du développement des fissures internes liées aux contraintes du cisaillement (fig. 16 a). On observe alors des écaillages de case-crushing de même allure que pour les éprouvettes rectifiées (fig. 16 b).

Enfin, au voisinage inférieur de la limite de fatigue, on observe des phénomènes analogues, mais ici les trous de pitting progressent très lentement et disparaissent par usure. On observe effectivement au début de l'essai la formation d'un grand nombre de petits trous liés à un rodage par transfert de métal à chaud ; le rodage se poursuit ensuite par abrasion à froid en entraînant la disparition de ces trous (fig. 17). *In fine*, on se trouve dans un cas analogue à celui de l'état rectifié ; les fissures induites par cisaillement ne débouchent pas à la surface, même pour des durées d'essai prolongées, et sont alors très souvent décorées de papillons (fig. 18).

CONCLUSION

En guise de conclusion, nous avons très schématiquement résumé l'ensemble de nos résultats au *tableau IV*. L'examen de ce tableau fait ressortir les idées essentielles suivantes, qui peuvent servir de guide pour améliorer les performances des engrenages :

— Intérêt du métal refondu sous vide qui permet d'accroître dans des proportions considérables les performances de fatigue, surtout dans le cas des bons états de surface. Logiquement, la décision de choisir le métal refondu sous vide doit donc être assortie de celle d'effectuer un usinage soigné.

TABLEAU IV : Tableau récapitulatif des principaux résultats de l'étude.

Effet sur → de ↓	Ténacité (essai de fissuration sous choc)	Aptitude au rodage (essai de frottement Faville)	Résistance à la fatigue (essai de fatigue en flexion rotative)	Résistance à l'écaillag (essai de fati en roulemer et glissemer
Méthode d'élaboration	Néant	Néant	Très favorable de la RSV	Très favorab de la RSV
Etat de surface :				
Rectifié	Très favorable	Très favorable	Très favorable	Très favorab
Shavé		Favorable	Très favorable	Favorable
Fraisé				
Traitement de surface :				
Phosphaté	Défavorable	—	Défavorable	Défavorabl
Sulf. BT	Favorable	Favorable	Défavorable	Défavorabl
Surcarburation	Défavorable	Plutôt défavorable	—	—
Passage au froid	Très défavorable	Plutôt défavorable	Défavorable	Défavorabl
Sans revenu	Très défavorable	Plutôt favorable	—	Favorable
Trempe différée	Favorable	—	—	Favorable

— Intérêt des bons états de surface, de l'état shavé et surtout de l'état rectifié, qui améliorent l'ensemble des propriétés d'emplois étudiées.

— Intérêt limité des traitements de surface : en particulier absence d'intérêt, semble-t-il, du traitement de phosphatation qui dégrade l'ensemble des propriétés étudiées à l'exception des propriétés de frottement. Encore, dans ce dernier cas, est-il utile de souligner que cette amélioration s'opère au détriment d'une usure importante (qui pose en pratique le problème de l'élimination des produits d'usure). Intérêt du traitement de Sulf BT pour les engrenages fortement sollicités ; dans ce cas toutefois la rectification semble nécessaire de sorte que Sulf BT et rectification devraient être associés. Ce dernier point doit être confirmé par des essais complémentaires.

— Intérêt des traitements thermiques et de cémentation habituels, notamment du traitement de trempe différée pourtant de plus en plus abandonné. Effet systématiquement néfaste du traitement par le froid (déstabilisation de l'austénite résiduelle) ; ce dernier traitement, pourtant largement utilisé, ne paraît se justifier, au vu de nos résultats, que par des raisons de déformation en service des pièces.

En résumé, les facteurs essentiels d'amélioration des engrenages sont la refusion sous vide, la qualité de l'usinage, le traitement de trempe différée ou mieux le traitement de double trempe, éven ment le traitement de Sulf BT dans le cas des nages fortement sollicités. A l'inverse, les éta surface grossiers, la suppression du revenu tente, le traitement par le froid et le traiteme phosphatation semblent devoir être décons Nous espérons que ces résultats obtenus à d'essais analytiques de laboratoire pourront être aux fabricants d'engrenages et les aideront à o leurs recherches.

discussion

M. LALLEMANT (Peugeot, Mulhouse) - M. Lacoude préciser les teneurs en austénite résiduelle dans les c étudiées. Y avait-il un gradient d'austénite avant l'es frottement ?

M. LACOUDE - Les teneurs en austénite résiduelle mesurées sur les éprouvettes de fissuration sous c de flexion rotative. Les résultats sont présentés *tableaux II* et *III*. Les mesures effectuées à différente fondeurs sous la surface (après dissolution électro du métal pour éviter tout écrouissage) ont montré qu' tait un gradient de teneur en austénite dans les cir miers centièmes de mm sous la surface, uniquemer le cas des éprouvettes détendues (fig. 19).

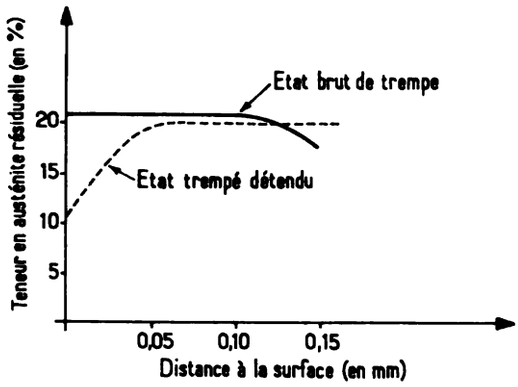


Figure 19.

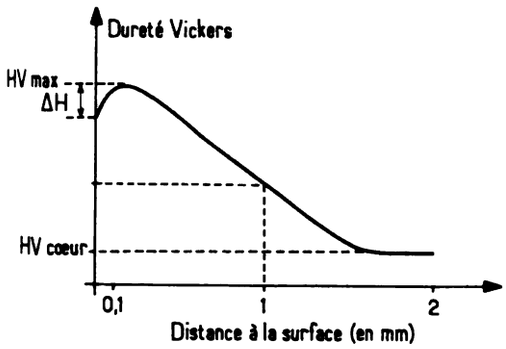


Figure 20.

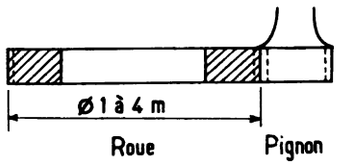


Figure 21.

mise en température des éprouvettes de taille réduite ınt très rapide vis-à-vis de la durée du revenu (1 heure), doit en déduire que la transformation $\gamma \rightarrow$ martensite ›i mise en évidence dans la zone épidermique est très ›bablement due à des contraintes mécaniques d'origine ›rmique.

. LALLEMANT - Comment ont été réalisées les surfaces éprouvettes cylindriques dites « shavées » ?

· LACOUDE - Il n'est pas possible de décrire ici dans détail le mode opératoire de l'usinage qui a demandé une longue mise au point : essais et contrôles de rugosité. On peut dire de façon succincte que le « shaving » a été obtenu par génération avec outil spécial, de révolution, semblable à une fraise portant un grand nombre de dents.

M. LALLEMANT - Quelles étaient les allures des courbes de microdureté relevées dans les différents cas de traitement ?

M. LACOUDE - Les gradients de dureté ont été mesurés sur chaque type d'éprouvette pour chaque série. On détermine de cette façon la profondeur de cémentation (mesurée conventionnellement à 550 Vickers). L'allure des courbes était classique (fig. 20) avec HV cœur compris entre 400 et 450 Vickers, HV max dépendant du traitement (voir tabl. II et III), H en liaison avec la teneur en austénite résiduelle.

M. LALLEMANT - Les essais sur machines ZF avec surfaces fraisées et shavées n'étaient-ils pas beaucoup trop dispersés ?

M. LACOUDE - Le problème de la dispersion des essais ZF en roulement-glissement est complexe. Si l'on se place loin de la limite de fatigue, un état de surface grossier augmente la probabilité d'apparition d'un défaut et diminue ainsi très fortement la dispersion : elle est beaucoup plus faible pour les éprouvettes shavées que rectifiées. Par contre, au voisinage de la limite de fatigue, la vitesse de propagation de certains défauts étant très grande, la durée de vie des éprouvettes est très variable : ainsi pour les éprouvettes fraisées où l'on atteint la limite de fatigue très tôt (10^6 cycles), la dispersion est forte mais peu supérieure à celle observée sur surfaces rectifiées.

M. LALLEMANT - Les couches cémentées ne présentaient-elles pas des défauts superficiels après cémentation (oxydes) déjà décrits par Gunnarson ?

M. LACOUDE - On a effectivement observé des défauts superficiels intergranulaires tels que ceux décrits par Gunnarson et bien d'autres. Cependant, les conditions de cémentation étaient telles que l'on a pu limiter l'amplitude de ces défauts au maximum ($< 5\ \mu$).

M. BUREL (Richier) - Avez-vous également déterminé l'influence de la nature du matériau en contact avec l'éprouvette essayée ?

Pour déterminer une corrélation avec la tenue en service, il serait souhaitable de disposer de couples de nature différente.

M. LACOUDE - Pour ne pas multiplier les paramètres étudiés, nous avons toujours systématiquement mis en contact deux surfaces d'aciers identiques ayant subi le même traitement thermique et la même préparation de surface.

M. HEMARD (S.N.C.F. Laboratoire) - Quelle est la nature des « ailes de papillon » ?

M. LACOUDE - Les altérations structurales en forme de « papillons » n'ont pas été étudiées sur des couches cémentées mais sur un acier à roulement de type 100 C 6 dont la composition est en fait très voisine de celle d'une couche cémentée (*).

(*) MONNOT (J.), TRICOT (R.), GUEUSSIER (A.). — Résistance à la fatigue et endurance des aciers pour roulements. *Rev. Métallurg.*, 67, n° 7/8 (juillet-août 1970), 619-638.

Des études complémentaires en microscope électronique ont montré que la structure des « papillons » est caractérisée par des dislocations rassemblées en écheveaux délimitant des cellules de 0,1 μ de diamètre environ et une absence de carbures de revenu.

M. DEBUYSSCAERE (Automobiles Berliet) - Les duretés superficielles HRC sur pièces surcarburées subissent-elles un changement après passage au froid ?

M. LACOUDE - Au cours de nos essais nous avon tué d'une part un passage au froid après cémentat male, d'autre part une cémentation surcarburante sui revenu sans passage au froid.

L'essai évoqué dans la question n'a donc pas été Cependant le passage au froid apportant un léger sement de dureté (voir tabl. II et III) après cém normale, il est logique de penser qu'après surcar cet accroissement serait supérieur, du fait du taux pl d'austénite résiduelle.

ERRATA

Revue de Métallurgie, vol. 69, n° 5 (mai 1972)

« ECONOMIE ET UTILISATION RATIONNELLE DU NICKEL DANS LES ACIERS SPECIAUX DE GRANDE CONSOMMATION »

par B. Champin, J. Lefèvre, R. Castro

p. 348, 1re colonne, dernière ligne : lire

$$+ 16\ Mn - 21{,}2\ \sqrt{E} + 2{,}21\ E + 22$$

au lieu de

$$+ 16\ Mn - 21{,}2\ E + 2{,}21\ E + 22$$

p. 349, 1re colonne, légende de la *figure 3*, lire :

Durcissement de la ferrite... au lieu de Durcissement de la fonte...

RECEMMENT PARU

Henry Le Chatelier

Un grand savant d'hier, un précurseur

Sa vie, son œuvre, son temps

par François Le Chatelier

Ingénieur Civil des Mines

Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences

Prix Henri de Parville 1970

L'influence des découvertes d'Henry Le Chatelier (1850-1936) demeure profonde, car ce savant a été un des principaux artisans de la pénétration de la science dans l'industrie et par suite de la mutation économique en cours. C'est en grande partie grâce à lui que nous pouvons aujourd'hui profiter d'une expansion rapide de la productivité, et en chiffrer à l'avance le taux de croissance ; il y a un siècle, penser que de telles prévisions pussent un jour être faites eut semblé une folie.

Son esprit très ouvert et d'une inlassable activité a largement débordé le progrès technique ; il s'est intéressé à tous les grands problèmes de son temps et a éveillé de nombreuses vocations scientifiques.

Au début du XXe siècle, la réforme des divers cycles d'enseignement inquiétait déjà les plus clairvoyants ; ce fut une des préoccupations dominantes du savant. Beaucoup de ses suggestions ont été reprises par les réformateurs contemporains ; dans d'autres cas, au contraire, nous prenons aujourd'hui le contrepied de ses propositions.

Il fut en particulier un défenseur acharné, mais déjà malchanceux, de la culture classique et, d'une façon plus générale, d'un enseignement secondaire orienté vers le développement des facultés intellectuelles, et non vers l'acquisition de connaissances utilitaires.

Premier disciple français de Taylor, Henry Le Chatelier s'est passionné pour l'organisation du travail. Les problèmes économiques et sociaux, les structures politiques, ont souvent retenu son attention ; il les abordait avec une grande liberté d'esprit, en dehors des sentiers frayés de la routine.

Appartenant à une famille marquée par le sens du service public, il sut allier la discipline avec la liberté, et défendre farouchement son indépendance de citoyen.

Un volume illustré 21,5 × 13,5 de 504 pages, 6 hors textes, en vente aux bureaux de la Revue de Métallurgie, 47, rue Boissière, Paris-16e, C.C.P. 491-04 Paris.

Prix pour la France : 38 F t.t.c. franco. Pour l'Etranger : 42 F franco par envoi postal recommandé.

Il ne sera pas fait d'envoi contre remboursement.

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE MÉTALLURGIE

Journées Métallurgiques d'Automne 1972

DU 2 AU 5 OCTOBRE 1972

à l'Ecole Centrale des Arts et Manufactures

Grande Voie des Vignes, CHATENAY-MALABRY (Hauts-de-Seine)

(Banlieue sud de Paris, accès par la ligne de Sceaux)

THEMES PRINCIPAUX :

Restauration et recristallisation des métaux

Emploi des métaux dans les industries productrices d'énergie, notamment d'énergie électrique

Affinage à l'oxygène pur en liaison avec la coulée continue

Ce dernier thème fera l'objet de la Journée « Sidérurgie » du jeudi 5 octobre 1972. Pour le programme détaillé de cette Journée, voir la rubrique « Avis Congrès » du présent numéro.

La séance solennelle de remise des médailles et des prix aura lieu le mardi après-midi 3 octobre

GRANDE MEDAILLE

à M. le Professeur Uichi HASHIMOTO

Recteur de l'Université Kogakuin, Tokyo

MEDAILLE REAUMUR

à M. le Professeur Ludwig von BOGDANDY

Membre du Directoire de Klöckner-Werke A.G., Duisburg.

MEDAILLE CHARLES EICHNER DU COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE

à M. Jean DELAFOSSE

Chef du Service des éléments combustibles et structures, C.E.A.

MEDAILLE SAINTE-CLAIRE-DEVILLE

à M. Hervé BIBRING

Directeur de la Division des alliages réfractaires à l'O.N.E.R.A.

PRIX RIST

à

M. Gérard BECK
(Ecole des Mines de Nancy).

M. François BOUTIN
(Centre de Recherches de Voreppe, Aluminium Péchiney).

Mlle Marie-Thérèse LEGER
(Centre Technique des Industries de la Fonderie).

M. Jacques LEVY
(Ecole des Mines de Saint-Etienne).

Au cours des Journées Métallurgiques d'Automne se tiendront, dans le grand hall donnant accès aux salles de conférences :

— une exposition de maquettes et de photographies relatives aux réalisations françaises en aciéries à l'oxygène et en coulée continue.

— une présentation d'appareils de laboratoire spécialisés pour les industries métallurgiques et mécaniques.

avis - congrès et manifestations

bibliographie

22e SALON INTERNATIONAL DE LA TECHNIQUE

(Turin, 23 septembre au 2 octobre 1972)

C'est dans le cadre de « Torino Esposizioni » que Turin présentera sa plus prestigieuse manifestation : le XXIIe Salon International de la Technique, panorama de l'industrie nationale des biens d'équipement et synthèse du progrès technique et scientifique en Europe et dans le monde.

Parallèlement, se tiendra la IIIe exposition européenne de la métallurgie.

●

JOURNEES METALLURGIQUES D'AUTOMNE DE LA SOCIETE FRANÇAISE DE METALLURGIE

(Chatenay-Malabry, 5 octobre 1972)

PROGRAMME DE LA JOURNEE SIDERURGIE

« L'aciérie à l'oxygène en liaison avec la coulée continue »

1) Mise en œuvre de techniques complémentaires pour une meilleure exploitation d'un ensemble aciérie à l'oxygène-coulée continue, par G. Dollé, J. Antoine, R. Alberny (IRSID).

2) Production de l'acier et coulée continue — considérations relatives aux possibilités de les harmoniser, par U. Petersen, H. vom Ende, R. Horst (Mannesmann AG).

3) Caractéristiques de production entre une aciérie à l'oxygène et une coulée continue à brame à une ligne, par R. Bertram, K. Fischer, E. Köhler, R. Weber (August Thyssen Hütte AG).

4) Réflexions concernant l'élaboration et le traitement en cours de coulée des aciers destinés à la coulée continue de brames pour tôles fortes ou tôles minces, par J. Leclerc, R. Martin, D. Amory (Usinor).

5) Résultats d'une coulée continue à brame combinée à une grosse aciérie à oxygène (titre provisoire), par K.H. Bauer (Forges et Aciéries de Dilling).

6) La coulée continue à Ensidesa par J. de la Vega Tejerina. J. Fernandez Avila (Ensidesa, Espagne).

7) La coulée des aciers pour tôles à haute limite élastique et à haute ténacité par la machine de coulée continue de l'usine Italsider de Tarente, par M. Civallero, M. Carignani (Italsider, Italie).

8) Nouvelles techniques en matière de coulée continue aux aciéries de Decazeville, par J. Lambert, J.L. Gatelais, J. Basilis (Aciéries et Usines Métallurgiques de Decazeville).

●

6e CONGRES ANNUEL DE L'IISI

(Londres, 9-11 octobre 1972)

Les sujets abordés seront la promotion, la technologie et la spécialisation dans la sidérurgie qui, chacun, feront l'objet d'un débat auquel prendront part des experts appartenant à cette industrie.

L'Assemblée Générale et la Réunion Annuelle du Conseil de l'IISI se tiendront le dimanche 8 octobre.

Le sixième Congrès commencera le lundi 9 octobre par un discours de bienvenue de Lord Melchett, Vice-Président de l'IISI et président de la British Steel Corporation, suivi d'une allocution de M. Yoshihiro Inayama, Président de l'IISI et Président de la Nippon Steel Corporation. Ensuite M. Charles B. Baker, Secrétaire Général de l'Institut, présentera son rapport annuel. L'après-midi du lundi 8 octobre aura pour thème : **« La promotion, un aspect du marketing. Etudes de cas »**.

Le mardi matin 10 octobre sera consacré au sujet suivant : **« Les récents développements dans la technique de l'acier. »** La dernière session, le mercredi matin 11 octobre, portera sur **« La spécialisation dans la sidérurgie. »**

Des visites d'usine sont prévues pour le jeudi 12 octobre. Les participants pourront choisir entre le complexe d'Anchor à Scunthorpe dans le Lincolnshire et l'usine de Llanwern dans le Monmouthshire.

Pour renseignements, s'adresser à :

P.A. Benoit ou M. de Soissons,
IISI,
Place du Champ-de-Mars,
B-1050 Bruxelles, Belgique,
Tél. (02) 12-30-73.

●

28e COLLOQUE SUR LES TRAITEMENTS THERMIQUES
(Wiesbaden, 11-13 octobre 1972)

Ce colloque, organisé par l'Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und Werkstoff-Technik, aura lieu, comme d'habitude, au Casino.

Au programme, 15 communications.

— **Mercredi 11 octobre, 9 heures-12 h 30 :** Réunion des Commissions spécialisées. A 10 heures, conférence publique « Emploi des pulvérisations de brouillards pour la trempe des plaques d'acier ».

— **Mercredi après-midi, jeudi et vendredi :** Séances techniques.

Renseignements :

Arbeitsgemeinschaft Wärmebehandlung und
Werkstoff-Technik
282 Bremen 77
Postfach 770207.

●

JOURNEE D'ETUDE SUR LES ACIERS SPECIAUX
(Lille, 25 octobre 1972)

La Chambre Syndicale des Producteurs d'Aciers Fins et Spéciaux et le Centre de Perfectionnement Technique organisent à l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille une Journée d'Etude des Aciers Spéciaux sur le thème : Assemblage des aciers inoxydables par soudage et autres procédés de fixation.

Un service de cars assurera le transport des participants entre Lille et l'Ecole.

Le repas de midi sera pris en commun dans un des restaurants de l'Université.

Les droits d'inscription sont fixés à 200 F par personne. Ils donnent droit à la remise des textes des communications, à l'usage des transports spéciaux et à la participation au repas de midi .

Les inscriptions doivent être adressées directement au Centre de Perfectionnement Technique.

Programme :

1re Partie : Les procédés

— La visserie en acier inoxydable, par P. Godart (Ugivis).

— Le collage de l'acier inoxydable sur lui-même et sur d'autres matériaux, par MM. David et Ferrando (Inoxium S.A.).

— Brasage en atmosphère fluorée, par Ph. Galmiche, Maitre de Recherches à l'O.N.E.R.A.

— Le soudage, par H. Gerbeaux (Institut de Soudure).

— Etude par microanalyse à la sonde électronique de la répartition des éléments dans les soudures, par D. Le Gallic, Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille.

2e partie : Les produits

— Soudage des tôles fines, par M. Decroix (Ugine Kuhlmann).

— Quelques cas de soudage difficile d'acier inoxydable au chrome-nickel par la méthode TIG sans métal d'apport, par M. David (Inoxium S.A.).

— Soudage en fortes épaisseurs d'aciers inoxydables austénitiques par bombardement électronique, par M. Bocquet (Creusot-Loire).

— Soudage des fils en acier inoxydable, par J. Lefèvre (Ugine-Kuhlmann).

— Problèmes de calcul et technologie, par M. Rigal (Creusot-Loire).

— Les tôles plaquées : mise en œuvre et soudage en chaudronnerie lourde, par H. Geny (Creusot-Loire).

Renseignments et inscriptions :

Centre de Perfectionnement Technique
80, route de Saint-Cloud
92500 Rueil-Malmaison
Tél. : 967-77-95, poste 006.

●

3e SEMINAIRE EUROPEEN POUR LE CONTROLE DE LA QUALITE DANS L'INDUSTRIE AUTOMOBILE
(Paris, 14-16 novembre 1972)

Placé sous l'égide de l'Organisation Européenne pour le Contrôle de la Qualité et organisé par l'Association Française pour le contrôle industriel de qualité (AFCIQ) en collaboration avec l'Association Française de Normalisation (AFNOR), ce séminaire aura lieu à Paris-La Défense, Tour Europe.

Le thème général : **Le coût de la sécurité par la qualité,** sera traité dans 4 sessions :

— Essais de sécurité.

— Production.

— Contrôle de la qualité.

— Après-vente et utilisation.

Vingt à vingt-cinq communications seront présentées par des conférenciers de divers pays européens dont la France.

Renseignements :

AFCIQ
Tour Europe
Cedex 7
92080 Paris La Défense
Tél. : 788-11-11, poste 4321.

●

2e SYMPOSIUM INTERNATIONAL SUR L'HYDROMETALLURGIE

(Chicago, 25 février-1er mars 1973)

Ce symposium, qui coïncidera avec l'Assemblée annuelle de l'A.I.M.E., comportera 8 sessions :

— Réduction sous pression.
— Electrolyse.
— Chimie physique.
— Extraction par échanges d'ions et par solvants.
— Lixiviation.
— Pratique industrielle.
— Séparation des phases.
— Purification et précipitation.

Quarante-six communications sont inscrites au programme.

Les actes du symposium seront reliés et distribués à la réunion ; prix $ 24.00. Prix après la réunion : $ 28.00.

Il n'y a pas d'inscription particulière pour ce symposium ; l'inscription à la réunion annuelle de l'A.I.M.E. en tient lieu.

A noter que la 1re session (réduction sous pression) commencera le 25 février après-midi, c'est-à-dire la veille de l'ouverture de l'Assemblée annuelle de l'A.I.M.E.

Renseignements complémentaires auprès de :

R.S. Shoemaker
Bechtel Corp.
P.O. Box 3965
San Francisco, Ca. 94119
U.S.A.

●

18e COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LES REFRACTAIRES

(Aix-la-Chapelle, 25-26 octobre 1973)

Ce colloque est organisé par l'Institut für Gesteinshüttenkunde (Aix-la-Chapelle), le Forschungsinstitut der Feuerfest-Industrie (Bonn) et le Verein Deutscher Eisenhüttenleute (Düsseldorf).

Thème : **Matériaux réfractaires pour fours électriques d'aciérie.**

Ce thème couvre tous les problèmes de fabrication et d'emploi des réfractaires dans les fours à arcs, à résistance et par induction.

Les auteurs désirant présenter une communication devront en envoyer le titre et un résumé de 2 à 3 pages **avant le 1er mars 1973** à :

Institut für Gesteinshüttenkunde der RWT Aachen
D-5100 Aachen
Mauerstrasse 5

Seuls les mémoires originaux seront acceptés.

●

5e CONGRES INTERNATIONAL DE TRANSFERT DE CHALEUR

(Tokyo, 3-7 septembre 1974)

Ce Congrès, qui fait suite au 4e Congrès International tenu à Versailles en 1970 est organisé par un Comité Japonais.

Thèmes : Rayonnement thermique - Conduction - Convection forcée ou naturelle - Ebullition et Condensation - Transferts simultanés de chaleur et de masse - Transfert de chaleur dans les systèmes rhéologiques, biologiques et dans l'environnement - Echangeurs de chaleur - Mesures et techniques analogiques, autres sujets de transfert thermique.

350 mémoires seront présentés par des rapporteurs et discutés en session. Chaque rapporteur traitera de huit à dix mémoires. Les textes des communications, qui doivent compter approximativement l'équivalent de 6 000 mots (tables et figures incluses) seront imprimés et distribués avant le Congrès. Les participants qui désirent présenter un mémoire à ce Congrès devront en soumettre, **avant le 1er mars 1972,** un résumé d'une page dactylographié à l'un des membres du Comité Scientifique pour examen préalable. Après sélection par le Comité Scientifique, l'article complet sera expédié avant le 1er septembre 1973.

Plusieurs conférences sur des sujets spéciaux concernant le transfert de la chaleur seront données par des lecteurs invités. Seront en outre organisées des discussions en table ronde, des projections de films et des démonstrations de matériel.

Langue officielle : anglais.

Des informations supplémentaires et une liste des membres du Comité Scientifique seront fournies en août 1972, sur demande à l'adresse suivante :

M. Henri Perdon
Secrétaire Général
Société Française des Thermiciens
28, rue de la Source
75016 - Paris

ou

M. le Professeur Jean Gosse
Directeur de l'Ecole Nationale Supérieure
d'Electricité et de Mécanique
BP 850
54011 - Nancy-Cedex

●

CYCLE ANNUEL DE FORMATION SUPERIEURE ET DE PERFECTIONNEMENT ERGONOMIE ET PRODUCTION DE MASSE

Le cycle annuel de formation supérieure et de perfectionnement (Méthodologie ergonomique), organisé au sein du Département des Sciences de l'Homme au Travail du Conservatoire National des Arts et Métiers, a porté en 1970-71 sur les rapports de l'ergonomie avec le génie industriel (engineering), et en 1971-72 sur les rapports de l'ergonomie avec la création de l'objet industriel (design). Ces enseignements ont été suivis avec beaucoup d'assiduité par des ingénieurs, des architectes, des médecins, des administrateurs, travaillant dans l'industrie.

Le Professeur A. Wisner et M. J. Foret, ingénieur civil des Mines, proposent pour 1972-73 un cycle analogue portant sur l'ergonomie et la production de masse. 20 séminaires auront lieu le vendredi après-midi, de 15 à 18 h, à partir du 17 novembre 1972, au Laboratoire de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du C.N.A.M., 41, rue Gay-Lussac, Paris 5e. La collaboration de professeurs de l'enseignement supérieur, de chercheurs et de praticiens de l'industrie, permettra de fournir des bases aux travaux personnels des membres du groupe.

Les principaux thèmes abordés sont les suivants :

— Evaluation de l'importance du problème des conditions de travail du point de vue :

- technique (amélioration de la qualité, augmentation de la fiabilité, réduction des accidents et incidents),
- social (absentéisme, rotation du personnel, difficultés de recrutement),
- économique (mise en question de la parcellisation du travail comme apportant le maximum de rentabilité).

— Observations réalisées dans diverses branches industrielles montrant les aspects positifs et négatifs de diverses modalités de la production de masse du point de vue des conditions de travail.

— Méthodes d'évaluation de la charge physique et mentale et de l'ambiance.

— Expériences réalisées dans certaines entreprises dans le but d'une meilleure adaptation du travail à l'homme. Evaluations sociologiques et économiques.

— Essais d'évaluation des possibilités technologiques d'amélioration des conditions de travail en fonction du type de fabrication.

— Recommandations ergonomiques susceptibles de servir de ligne directrice pour les bureaux d'études et de méthodes chargés de concevoir les techniques de fabrication de masse.

Cet enseignement est susceptible de bénéficier des dispositions de la loi sur la formation continue.

Pour tous renseignements relatifs à cet enseignement, s'adresser au Laboratoire de Physiologie du Travail et d'Ergonomie du Conservatoire National des Arts et Métiers, 41, rue Gay-Lussac, Paris 5e, tél. : 033-18-27.

●

BOURSES DU BRITISH COUNCIL POUR L'ANNE 1973-1974

Des bourses d'études de longue et courte durées pour l'année académique 1973-1974 sont offertes par le British Council à des chercheurs dans tous les domaines d'études, possédant leurs diplômes professionnels (maîtrise, agrégation, doctorat ou équivalent) et désirant poursuivre des recherches en Grande-Bretagne. Pour ces bourses, une bonne connaissance de la langue anglaise est indispensable.

Date limite de dépôt des dossiers de candidature :

— bourses de longue durée : 17 décembre 1972 ;

— bourses de courte durée : 31 janvier 1973.

Pour tous renseignements, écrire à :

The British Council
36, rue des Ecoles
75005 Paris

ou

The British Council
2 bis, Allées F. Verdier
31 Toulouse

bibliographie

La Climax Molybdenum S.A. vient de remettre à jour sa liste de publications intitulée :

« **Literature on molybdenum containing steels, irons and nonferrous alloys** ». (Aciers, fontes et alliages non ferreux contenant du molybdène).

Cette nouvelle liste comprend 177 articles ou brochures traitant des sujets suivants :

— produits moulés et matériaux résistant à l'abrasion ;

— aciers et alliages inoxydables ;

— aciers à haute limite élastique ;

— aciers et alliages réfractaires ;

— spécifications ;

— généralités sur les mines de Climax et d'Henderson.

Cette liste est distribuée, sur simple demande, par Climax Molybdenum S.A., 61, avenue Victor-Hugo, 75116 - Paris.

●

A. JARRIGE. **Les cendres volantes.** — Un vol. broché 16 × 25 de 216 pages avec 50 figures et 16 tableaux édité en 1971 par Eyrolles, à Paris. Prix : 43 F.

Depuis longtemps on s'est préoccupé de la captation des cendres volantes qui fut l'une des premières mesures pour la protection de l'environnement. Puis de nombreuses recherches ont été faites en vue de leur utilisation et les domaines d'application sont maintenant nombreux et divers. L'auteur, éminent spécialiste, fait ici le point de l'ensemble de ces questions. L'ouvrage comprend trois parties :

— Généralités : définitions et articulations, avancement des connaissances sur les cendres, facteurs extérieurs aux cendres dont dépend le développement de leurs utilisations.

— Données fondamentales sur les cendres : provenance, caractéristiques des cendres tout-venant, des fractions séparées, propriétés des cendres silico-alumineuses.

— Applications industrielles des cendres : classement des applications, les cendres volantes dans les bétons, les travaux routiers ; les cendres dans la fabrication des

bétons cellulaires, agrégats légers de cendres volantes frittées, les cendres dans la fabrication des briques et autres produits céramiques, les cendres sources de corps chimiques, autres emplois divers.

Trois appendices donnent des informations sur les cendres fondues, les cendres silico-calciques et la mesure continue de la teneur moyenne en imbrûlés des cendres à la centrale.

●

Ch. BOUCHY, F. GOBIN. **Métallurgie 1 : Métallurgie structurale.** — Un vol. broché 21 × 27 de 160 pages avec de nombreux tableaux et figures, édité en 1971 dans la collection « Génie Mécanique » par Armand Colin à Paris. Prix : 36,00 F.

La collection est principalement destinée aux élèves des Instituts Universitaires de Technologie.

Ce premier tome de métallurgie structurale contient neuf chapitres : Généralités - Notions d'élaboration des métaux et alliages - Constitution des alliages - L'essai métallographique - Le cuivre et les alliages cuivreux - L'aluminium et les alliages légers - Les aciers - Les fontes.

Au cours des chapitres on trouvera des suggestions relatives aux travaux pratiques.

●

Eckstein **Werkstoffkunde - Stahl und Eisen I** (Science des matières premières, Acier et fonte I). — Un vol. broché 16,5 × 23 de 104 pages avec 83 figures et 8 tableaux, édité en 1971 par VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, à Leipzig. Prix : 8,00 M.

Ce premier tome consacré aux produits sidérurgiques, très condensé, comprend trois grands chapitres :

— Matières premières fibreuses : élaboration et fabrication.

— Etat des matières premières d'alliages de fer : structure, transformations, éléments s'alliage, traitements thermiques, etc.

— Propriétés des alliages ferreux.

●

Publications de Stahleisen Verlag à Düsseldorf. **Taschenbuch der Stahl-Eisen-Werkstoffblätter** (Recueil de poche des fascicules de documentation sur les produits sidérurgiques). — Un vol. broché 14,5 × 21 de 219 pages publié en 1971. Prix : DM 25.-

Ces fascicules de documentation préparés par le « Verein deutscher Eisenhüttenleute » (Union des sidérurgistes allemands) ont pour but d'unifier autant que possible les propriétés d'usage des aciers, dans des domaines où l'établissement des normes DIN n'est pas encore possible. Il a paru commode de réunir ces fascicules en un ouvrage, bien entendu en l'état où ils se trouvent au moment de sa préparation (janvier 1971).

L'ouvrage réunit 30 fascicules de documentation qui portent soit sur les caractéristiques, soit sur les conditions de livraison de divers produits sidérurgiques. Il contient également la liste de nouvelles éditions de certains fascicules et de ceux d'entre eux qui entre temps sont devenus des normes DIN.

Il est observé que ces fascicules ne présentent pas moins d'intérêt pour les producteurs et les utilisateurs que les normes DIN elles-mêmes.

●

W. BATEL. **Einführung in die Korngrössenmesstechnik** (Introduction à la technique de mesure de grosseur du grain). (3e édition revue et complétée). — Un vol. relié toile 16 × 23,5 de XI-214 pages avec 129 figures et 31 tabeaux édité en 1971 par Springer Verlag Berlin/Heidelberg/New York. Prix : DM 48.- $ 13,90.

Cet ouvrage constitue une mise au point sur l'analyse granulométrique, la caractérisation de la répartition granulométrique, l'étude des surfaces de matériaux granulaires, la prise des échantillons et la technique de mesure de matériaux pluvérulents. Il comprend six chapitres :

Introduction - Prise d'échantillons pour les mesures et analyses de matériaux granulaires ou pulvérulents - Analyse granulométrique - Méthodes de mesure à la surface des matériaux granulaires - Etude des matériaux pulvérulents.

Une abondante liste bibliographique et un index terminent l'ouvrage.

●

Publications de Giesserei Verlag GmbH à Düsseldorf :

Giesserei Wörterbuch (Dictionnaire de fonderie). — Un vol. relié 10,5 × 14,5 de 271 pages publié en 1971. Prix : DM 28,00.

Il s'agit d'un dictionnaire allemand-anglais et anglais-allemand contenant quelque 7 500 termes utilisés en fonderie (matières premières et autres, installations, opérations, auxiliaires des installations, contrôle des produits, problèmes économiques, etc.).

●

Publications de l'Institut Max Planck de recherche sidérurgique - Editions Verlag Stahleisen à Düsseldorf.

Rapport d'activité pour les années 1965 à 1970. — Un vol. broché 16 × 23 de 290 pages avec 176 figures publié en 1971.

Ce volume contient les rapports d'activité des différentes sections de l'institut, un rapport sur sa collaboration avec échelons national et international des listes de publications, conférences, etc.

●

Publications du Verlag Stahleisen mbH à Düsseldorf.

Stahleisen Kalender 1972 (annuaire de la sidérurgie). — Un vol. relié 10 × 13,5 de 331 pages. Prix : DM 10,00.

Il contient sous sa forme habituelle des données statistiques simples, des indications sur les usines sidérurgiques

allemandes et de la Communauté et leur évolution, sur l'extraction de minerai, sur les transports, sur les contrôles, sur l'air, les eaux usées, sur la protection contre le bruit.

Il comprend de nombreux tableaux de statistiques économiques et se termine par les adresses des associations, instituts de recherche, sociétés savantes, etc.

●

Metals handbook - Volume 6. Welding and brazing (Manuel sur les métaux. Vol. 6 Soudage et soudobrasage, 8e édition. — Un fort volume relié 23 × 28,5 de 737 pages avec 860 tableaux et 360 figures publié par the American Society for Metals en 1971 et distribué également par Chapman et Hall à Londres. Prix non indiqué.

Ce volume est l'œuvre collective de nombreux spécialistes.

Le soudage comprend 36 articles portant sur l'équipement, les modes opératoires, la conception des joints, les techniques utilisées et leurs résultats, les applications aux aciers de diverses nuances, les alliages réfractaires, les fontes et les alliages non ferreux, les différentes méthodes de soudage à l'arc, les procédés électroslag et électrogaz, le soudage par résistance, étincelage et frottement, le soudage aux gaz (y compris l'acétylène).

Les divers procédés de brasage ; au four, à la flamme, par induction ou résistance, au bain de sel sont examinés pour les aciers au carbone et faiblement alliés, les fontes, les aciers inoxydables, l'aluminium, le cuivre et leurs alliages. Cette partie comprend 9 articles.

●

O. WINKLER et R. BAKISH (sous la direction de). **Vacuum metallurgy** (Métallurgie sous vide). — Un vol. relié toile 17 × 24,5 de 890 pages avec de nombreux tableaux et figures édité en 1971 par Elsevier Publishing Company, Amsterdam/Londres/New York. Prix : Florins 275.- environ $ 76,25.

La métallurgie sous vide s'est largement développée ces dernières années et permet d'élaborer les métaux les moins communs, ce qui conduit aux applications nucléaires et spatiales. Elle permet d'élaborer des métaux plus ordinaires et notamment des aciers de haute qualité.

L'ouvrage comprend 11 chapitres :

Thermodynamique et cinétique de la métallurgie sous vide - Art de l'ingénieur en matière de vide - Emploi des techniques du vide dans l'élaboration et l'affinage des métaux - Dégazage sous vide - Fusion sous vide - D nation de la teneur en gaz par les méthodes de dé sous vide - Frittage sous vide - Traitements ther sous vide - Assemblages sous vide - Revêtement vide - Effets du vide poussé sur certaines propriétés tantes des métaux et alliages.

Chaque chapitre est accompagné d'une liste de rences bibliographiques.

●

R. LE GOUIC. **Précis de soudage, brasage et tech connexes.** Préface de J.M. Muller, Professeur de truction à l'Ecole Nationale des Ingénieurs de Belf Un vol. 13,5 × 23 de 144 pages, avec 195 édité par Editrad, 4, rue de Beaumont, Asnières, Luzarches. Prix : 25 F TTC et frais d'envoi comp

Ouvrage de synthèse établi au niveau du tech il offre un panorama de ces divers procédés, les situ leur contexte industriel et donne l'essentiel de leurs ples aspects. Il permet d'obtenir sur le champ les prin informations concernant un point particulier ou d'a rapidement une vue d'ensemble de ce moyen d'asse aux possibilités exceptionnellement étendues, et qu technicien ou ingénieur ayant affaire aux métaux à u quelconque a grand avantage à connaître.

Cet ouvrage comporte sept chapitres : Définitior mentaires - Métallurgie et soudabilité - Procédés d' blage (tous procédés de soudage et de brasage) - M œuvre des matériaux et des procédés (préparation, tion et traitement des assemblages) - Contrôle des tructions (radiographie, ultrasons...) - Techniques co (coupage, métallisation, rechargement...) - Divers (hygi sécurité, Organismes de la Soudure, bibliographie, alphabétique...).

●

BENSIMON (R.). — **Les matériaux métalliques.** To **La corrosion des matériaux métalliques.** — U 20 × 21 de 72 pages édité par Pyc-Edition, 254, Vaugirard, Paris-15e. Prix : 19 F TTC.

Cet ouvrage, complémentaire des deux précédents décrit les processus de la corrosion et en analyse le canismes.

Au sommaire : Généralités - Différents processus corrosion - Corrosion des matériaux métalliques da milieux aqueux - Morphologie de la corrosion - Facte la corrosion - Caractéristiques de la corrosion - Ess corrosion - La corrosion sous tension - Influence de rosion sur la tenue en fatigue des pièces mécani Fretting-corrosion.

SOCIETE ANONYME FRANCAISE POUR LA FABRICATION DES
Tôles Perforées de MAUBEUGE NORD
• Tôles perforées • Tôles gaufrées
• Tôles découpées et pliées
S.A.F.T.P., 19, ROUTE D'AVESNES, MAUBEUGE (59) Tél. MAUBEUGE (20) 64-67-07 BOITE POS. 153 TELEX 82-84

Information Compagnie Française des Convoyeurs

La manutention continue des charges isolées dans la métallurgie

Parmi les nombreux domaines d'activité où la manutention occupe une place importante dans le processus d'élaboration et de transformation, la métallurgie se situe au tout premier rang. Très grossièrement, on peut diviser les manutentions à effectuer :

— en amont de l'élaboration du métal,

— aux approches immédiates de l'élaboration du métal,

— en aval, sous la forme du produit brut avant les toutes premières phases de sa transformation.

C'est ainsi qu'au premier stade cité, on utilise de très longue date des moyens d'acheminement des minerais et matières premières par le procédé de manutention continue en vrac. Les points d'extraction sont souvent desservis par des transporteurs à bandes ou à tapis à écailles métalliques ou encore, lorsque les conditions topographiques l'exigent, par des transporteurs aériens à bennes. Il s'agit là d'assurer le transport sur des distances assez longues ou impraticables aux camions et voies ferrées. Les performances recherchées sont essentiellement celles qui touchent au débit.

Au deuxième stade, à l'usine de production, des problèmes beaucoup plus complexes que ceux du transport peuvent se poser. Dans bien des cas, ils entrainent une suite d'opérations peu propices à des manutentions continues. C'est alors une combinaison d'engins multiples, wagonnets, pousseurs, tracteurs, élévateurs, ponts-roulants, et bien d'autres entre les mouvements desquels s'intercalent de coûteux temps et espaces de stockage intermédiaire.

C'est le discontinu avec tout ce qu'il représente d'imprévisible, de main-d'œuvre et... de mauvais rendement.

Car c'est bien là le problème. Les unités productives sont constamment accrues, les spécifications de qualité, de rotation des stocks, d'économie des surfaces toujours plus serrées et souvent c'est l'intendance qui ne suit pas : les moyens classiques de manutention deviennent des freins aux moyens de production proprement dits. La question se pose, d'abord confuse, car il est malaisé de discerner la frontière où il faut, bon gré mal gré, abandonner la tradition et chercher autre chose, puis devient évidente. D'autres l'ont connu, l'ont résolu ou continuent à la résoudre. Citons la fonderie. Cette forme de métallurgie particulièrement bien dotée en problèmes de manutention a dû, ces dernières années, réviser plusieurs de ses procédés. Certains ont abouti à la manutention continue par convoyeurs aériens. C'est le cas de :

— l'alimentation en matière première des cubilots,

— l'alimentation des moules en poches de coulée depuis la sortie du cubilot,

— du refroidissement des pièces après démoulage,

— du grenaillage et du sablage.

ALIMENTATION EN MATIÈRE PREMIÈRE DES CUBILOTS

Méthode classique : skip ou élévateur à tablier.

Avantages par méthode du convoyeur aérien :

Type Overhead : implantation facilitée.

Sur un circuit fermé, on dispose d'un certain nombre de bennes permettant d'établir un processus continu des opérations : préparation et dosage de la matière première, pesée en continu, élévation, déchargement automatique dans le cubilot voulu par présélection, retour des bennes vides. En prévoyant un écartement des bennes et des différents postes, qui soit un sous-multiple de l'entraxe des cubilots, on peut, par une marche pas à pas du convoyeur, obtenir un processus régulier des opérations avec le maximum de rendement à chaque poste.

Type Power and Free :

Par les dérivations du circuit principal que l'on peut prévoir aux différents postes, et en particulier aux cubilots, on peut assurer des stocks de bennes en attente avant et après l'opération de chaque poste. On peut ainsi effectuer par exemple un travail continu de l'équipe sur un temps réduit pour préparer la réalisation entièrement automatique des chargements de cubilots alimentés en bennes chargées.

Avantages : Emploi maximum de la main-d'œuvre en travail préparatoire. Opérations s'effectuant automatiquement ou semi-automatiquement en heures différées (la nuit par exemple).

ALIMENTATION DES MOULES EN POCHES DE COULÉE DEPUIS LA SORTIE DU CUBILOT

Ce genre d'opération est souvent réalisé par monorail et palans porteurs de poches.

Avantages en convoyeur aérien :

Type Overhead :

Possibilités d'éliminer la main-d'œuvre d'accompagnement dans les deux sens.

Possibilité, par inflexion verticale, de dégager les allées, d'accéder à des niveaux différents de celui du point de départ.

Type Power and Free :

Particulièrement intéressant puisqu'il permet notamment, outre les possibilités énumérées ci-dessus pour le convoyeur Overhead :

— d'établir un réseau de circulation des poches en partie libre et en partie mécanisée ;

— d'alimenter, par le jeu des aiguillages, différents carrousels de coulée ;

— de prévoir une ou plusieurs poches en stock, aussi bien en vide avec chargement au cubilot qu'en plein avant la coulée aux carrousels ;

— de prévoir aisément, le long de la zone de coulée dans les moules, un tronçon de chaîne aérienne synchronisée en vitesse avec le carrousel de coulée.

L'opérateur est ainsi libéré du souci de l'avance de sa poche au moment de la coulée et peut concentrer toute son attention sur l'opération de remplissage du moule. L'effort physique de poussée et de contrôle de l'avance de la poche lui est épargné. Grâce à un doigt d'encliquetage du chariot porteur de la poche sur la chaîne d'accompagnement synchronisée, il est à tout moment maître du mouvement, de la position et du dégagement de sa poche.

GRENAILLAGE-SABLAGE

Le grenaillage des pièces se pratique de plus en plus en continu. Les constructeurs de cabines de grenaillage prévoient généralement un circuit permettant l'alimentation de la cabine et la sortie des pièces.

L'opération se fait, soit en continu (sans arrêt du convoyeur, soit en discontinu, en marche pas à pas, le convoyeur s'arrêtant systématiquement devant les turbines de grenaillage. La rotation du portoir est assurée dans les deux cas par un mécanisme généralement incorporé dans la cabine de grenaillage. Ceci permet une présentation des pièces au jet de grenaille sur tous les angles.

Le plus souvent, les circuits de convoyeurs ainsi prévus sont très courts et n'autorisent un parcours que dans le plan horizontal. Depuis quelque temps, on a compris l'intérêt qu'il y avait à utiliser tous les avantages du convoyeur aérien pour alimenter les circuits de grenaillage. On pourrait être tenté de prolonger simplement à travers le grenaillage le circuit de refroidissement des pièces ; malheureusement, cela n'est généralement pas possible ou entraînerait des dépenses de portoirs de pièces très élevées. En effet, les pièces démoulées sont supportées sur le circuit de refroidissement par plateaux ou dans des paniers, et les balancelles porteuses ne sont pas prévues pour la rotation. Au contraire, le passage en grenaillage nécessite que les pièces accrochées unitairement ou en grappes présentent devant les turbines toutes les parties à grenailler. Il semble donc difficile d'éviter le transfert manuel entre les deux circuits refroidissement-grenaillage.

onvoyeur du grenaillage pourra ensuite ache-
es pièces jusqu'à l'atelier d'ébarbage.

ıploi du convoyeur Power and Free se révèle
èrement intéressant lorsqu'on veut desservir
s cabines de grenaillage en partant d'un point
gement commun. Grâce au jeu des aiguillages
ɔré-sélections, on peut spécialiser les cabines
l ou tel type de pièce.

ailleurs, toujours grâce au circuit Power and
ı peut travailler par campagnes et économiser
ɜ la main-d'œuvre en utilisant le chargement
ɜchargement différés (même formule que pour
ɟement des cubilots cités ci-dessus), ceci pou-
re obtenu en faisant précéder la cabine de
ɜge d'un circuit de stockage des portoirs
ɜt en la faisant suivre d'un circuit équivalent
ɜption des portoirs après grenaillage. On peut
nployer le personnel au « garnissage » de tout
k de portoirs précédant l'entrée au grenail-
uis laisser fonctionner, entièrement en auto-
ɜ, l'installation, les portoirs venant se stocker
rtie pour être déchargés à un moment quel-

possibilités d'indexation et de triage seront
: utilement exploitées pour l'acheminement
barbage, par exemple pour alimenter des ma-
spécialisées.

récemment, surtout aux Etats-Unis, c'est le
rteur de coulée au sol qui a été remplacé au
e convoyeurs aériens du type lourd à charges
ıbles Power and Free « Dog-Magic R ». Cette
ɜion, réalisée pour des charges unitaires attei-
t à la Fonderie Chrysler de Detroit, a eu dans
ɜssion un retentissement considérable. On y a
hé, et semble-t-il réussi, à harmoniser les dif-
courants d'élaboration des moyens, de prépa-
les moules, de coulée, de refroidissement, de
ge des pièces, d'évacuation des jets, etc.,
forme de multiples convoyeurs aériens com-
ɜn système, intégrant des éléments de trans-
d'automatismes.

ɟrande souplesse d'implantation et le dégage-
es surfaces au sol qui caractérisent bien les
ɜurs aériens donnent à l'ensemble de la fon-
n aspect de netteté, de propreté, de facilité
ail pour le personnel, qui ne manque pas de
dre le visiteur.

ɔroduction du fil d'acier sous forme de cou-
constitue également un bel exemple de recher-
continuité dans les opérations par manuten-
ɜomatique sur convoyeurs aériens.

trains de filage sont depuis longtemps déjà
tés par des convoyeurs aériens Overhead à
s. Ces convoyeurs chargés automatiquement
ɔrtie des veines de filage assurent le refroi-
ent sur un parcours fixe. Le déchargement
tue sur des tourelles à bras oscillants.

A l'usine de Fairless de l'U.S. Steel, l'emploi du Power and Free « Dog-Magic R » a permis, comme en bien d'autres occasions, d'apporter au processus une grande souplesse d'exploitation et d'y inclure un certain nombre d'opérations telles que la compression et le liage automatique.

Le succès de cette formule est à l'échelle mondiale et de nombreuses firmes s'en inspirent dans leur programme de modernisation.

La production de l'aluminium par réduction de l'alumine dans des fours à électrode de carbone exige un très important travail préparatoire de ces électrodes. Le renouvellement des anodes de carbone qui se consomment dans les fours exige une production continue des blocs anode proprement dits et leur soudure à l'extrémité de grandes tiges d'anode. Les manutentions sont importantes :

— par le poids mis en jeu (plus d'une tonne par anode complète) ;

— par la quantité et la constance d'approvisionnement des fours à assurer ;

— ppar la délicate opération de soudure qui combine : l'amenée du bloc d'anode sur transporteur à rouleaux, de la tige d'anode sur convoyeur aérien « Dog-Magic R », l'introduction automatique des plots de la tige dans les trous de l'anode, la présentation de l'ensemble au poste de coulée du métal de soudure, le cycle de refroidissement, l'enlèvement de l'ensemble tige-anode toujours sur convoyeur aérien, le stockage dynamique, la présentation par groupes de quelques unités, la mise sur palette de transport, ou mieux encore le transport direct vers les fours.

Cette énumération brève passe sous silence diverses opérations auxiliaires assurées le long du parcours et mettant en jeu des machines spéciales de nettoyage ou d'aspersion liées à la marche des pièces sur le convoyeur et même à leur rotation par le convoyeur.

Grâce à un jeu de permutation systématique, le retour des anodes usées et leur introduction dans le circuit de rénovation se conjuguent avec la livraison des anodes neuves.

Il n'entre pas dans notre propos l'intention de décrire les réalisations d'une manière détaillée. Ce que nous avons tenté de mettre en relief dans les quelques exemples cités, c'est l'intérêt qu'il peut y avoir à partir d'un certain seuil de production, à éviter les discontinuités dans la succession d'opérations répétitives. Il nous semble intéressant de souligner l'évolution fondamentale qui s'est produite dans le convoyeur aérien à chaine avec l'introduction du « Dog-Magic R », véritable transporteur automatique aux possibilités d'asservissement multiples avec d'autres appareils ou machines. Les stocks tampons, les

moyens d'indexer les charges individuellement, donnent un tout autre sens à la notion « d'opérations répétitives ». Il y a répétition, certes, mais avec un nombre d'options automatiques tel qu'une gestion en temps réel par ordinateur peut s'avérer nécessaire. Dans un même système, on peut par exemple prélever des échantillons sur chaque charge pour examen en laboratoire, conserver en mémoire l'identité de la charge qui poursuit son parcours, et reçoit un peu plus tard l'ordre résultant de l'examen du laboratoire. Cet ordre peut être le signal actionnant des aiguillages d'orientation, un dispositif éjecteur, un enregistrement de pesage, etc.

Les applications de cette formule sont innombrables dans des domaines les plus divers, les plus insolites parfois. Le domaine de la métallurgie si riche en problèmes de manutention n'y échappe pas.

La difficulté de l'étude réside surtout dans sie d'ensemble des données qui déterminei création du matériel le mieux adapté. Seu étroite collaboration entre les ingénieurs res bles de la production et les spécialistes en m tion permettra d'élaborer des solutions original desquelles il ne saurait y avoir de progrès dé

R. ASSET

Directeur technique de la
Compagnie Française des Convo

« Dog-Magic R » est une marque déposée.

TABLE DES ANNONCEURS

	Dans ce N° : Pages
A	
ELEFUNKEN	
AVAL	
& DUVAL	VIII
ATION INTERNATIONAL	
B	
CK ATLANTIQUE	V
IS	
LD	
OT	
C	
EISS	
LON COMMENTRY BIACHE	
IN ARNOUX	
(Hauts Fourneaux de la)	
GNIE EUROPEENNE DE TRAITEMENT	
S EAUX	
GNIE FRANÇAISE DES CONVOYEURS	
GNIE GENERALE DE PHYSIQUE	
GNIE TECHNIQUE DES PETROLES	
OIR DES PRODUITS MAGNESIENS	
EAU (MANUCAC)	
OT-LOIRE METALLURGIE	
D	
et DIEMENTHAL	
ASHMORE	
RE LEVIVIER	
E	
IO NITE	
IO REFRACTAIRE	
AUTOMATION	
SS + HAUSER	
FIER	
F	
IER MOUILLON	
AUBE	
ROUSSEAU	
RO	
G	
E FRANCE	
STERKRADE	
ZER SPICER	
H	
ANN & BRAUN	
EMBERGHE & KLUTSCH	
I	
TRIALEXPORT	
ABE	
IED	VIII
ATIONAL NICKEL	
ON	
J	
NT SCHNEIDER	
MANVILLE	
K	
SBERG FRANCE	
L	
CAFFIN	
RATOIRE DE CONTROLE METALLURGIQUE	
OLOMIE FRANÇAISE	VI
NISEL & BLANCHARD	
FRANCE	
ENFANTS DE MERCIER	
MUS	
M	
MACHINOEXPORT	
M.A.I.R.	
MAN GHH FRANCE	
MARREL FRERES	XI
M.E.T.	VI
MINEMET	
MINERALIMPEX	
MINGORI	
MORGANITE CERAMIC FIBRE	
MORGAN THERMIC	
N	
NEUVES MAISONS CHATILLON (ACIERIES)	
NEWALLS INSULATION	
NEYRPIC	
NOBEL HOESCHT	
O	
OMNIUM D'ASSAINISSEMENT	
ONIA GEGI	
OSI	
OZONAIR	
P	
PECHINEY-UGINE-KUHLMANN	X
PENARROYA	
PHILIPS	
POLYSIUS	
POLYSIUS	
PRAT DANIEL POELMAN	
PROST	
R	
RADEX	4e couv.
ROYALE ASTURIENNE	
S	
S.A.F.T.P.	XIII
SAINT-GOBAIN ELECTRO-REFRACTAIRE	
SAMM	
SAULNES & UCKANGE	
SCHENCK	
SCOM	
SECOSAR	
SEFRAM	
SETREM	
SIEMENS	
SMAP	
SOCIETE FRANÇAISE DE MINERAIS ET METAUX	
SOCIETE GENERALE DES PRODUITS REFRACTAIRES	
SOCIETE METALLURGIQUE DE NORMANDIE	
SOCIETE NOUVELLE DES ACIERIES DE POMPEY	
SOFRANCE	
SOLLAC	
SOLOTRAFER	
SPRUNCK	X
STANDARD MESSO	
T	
TECHNOM	
TECHSNABEXPORT	
TESTWELL	VII
TRAYVOU	
TRINDEL	
TUBES DE CHEVILLON	
TUBES DE NORMANDIE	
TUBES DE LA PROVIDENCE	
U	
UGINE GUEUGNON	
UGINE INFRA	
UGINOX	
USINOR	XII
V	
VALLOUREC	
VEITSCHER MAGNESIT	2e couv.
VON ROLL	
W	
WENDEL SIDELOR	IX
WERNER PFLEIDERER	

48, rue de Lancry, Paris (10e) Dépôt légal 3e trimestre n° 455 *Le Directeur de la Publication :* Max DUPONT

RADEX

ANS LE FOUR ELECTRIQU

RADEX - SK - CM
RADEX - BC
RADEX - CM

ERREICHISCH-AMERIKANISCHE MAGNESIT
RADENTHE
DEX INTERNATIONAL S. A., 8, RUE LA BOÉ
75 - PARIS VI

mais qu'est-ce qui rend possible cette performance ?

C'est essentiellement la boîte de vitesses et le pont,
sur la voiture de course comme sur celles de tous les jours,
qui, malgré des millions de manœuvres,
encaissent toujours tout sans défaillance, grâce à :
• l'endurance,
• la ténacité
des matériaux utilisés.

Les aciers UGINE ont été élaborés
pour répondre à ces exigences de pointe.
Aujourd'hui, ils sont utilisés pour **votre voiture.**

ugine aciers
10, RUE DU GÉNÉRAL FOY - PARIS 8e

revue de métallurgie

Fondée en 1904 par Henry Le Chatelier

Présidents honoraires : Eugène Dupuy, Georges Delbart

Président-Directeur Général : René Castro

REDACTION ET ADMINISTRATION : 47, rue Boissière, Paris-16e - Tél. : 553-81-30

Régisseur de la Publicité : REGIE PUBLICITE INDUSTRIELLE

36, rue du Fer-à-Moulin, Paris-5e — Téléphone 707-53-39

69e ANNÉE | SEPTEMBRE 1972 | No 9

Informations économiques

Le marché de l'acier .. .. 193 - E

La sidérurgie grecque .. .. 203 - E

La Maximilianshütte en 1971 .. .. 207 - E

Fusion des groupes norvégiens Elkem et Christiania Spigerverk .. .. 209 - E

Projets de grandes usines dans la sidérurgie soviétique .. .. 210 - E

La VOEST en 1971 .. .. 213 - E

Mémoires techniques présentés à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

J. Soland : **Entretien des installations d'automatismes** 529

Problèmes généraux d'entretien. Principes de l'entretien préventif. Difficultés particulières liées aux automatismes et à l'instrumentation. Mise en place d'un système d'entretien. Sous-traitance. Formation du personnel et gestion budgétaire. Les ateliers et les installations annexes. Rôle de l'entretien au stade de la conception des équipements.

J.P. Schmit : **Les ordinogrammes** 541

Définition et présentation des symboles. Association des symboles, définition des états constituants. Utilisation des ordinogrammes à des fins de dépannage.

R. Sadeler : **Méthodes de chemin critique. Etude comparative** 553

Etude des différentes méthodes de chemin critique. Caractéristiques des systèmes. Domaines préférentiels d'application. Application à l'entretien.

P. Bresso : **Méthodes de chemin critique : application pratique à un cas** 561

Choix de la méthode à utiliser pour l'entretien ; exemple. Analyse du cas. Confection, utilisation et exploitation du graphe ; établissement du tableau de charge.

J. Burton : **Entretien programmé des instruments de mesure et de régulation** 579

Conditions préalables à remplir : localiser les appareils, les classer, les immatriculer, les recenser, établir le guide d'entretien. Etablissement des documents d'entretien et de dépannage. Etat statistique mensuel et état statistique semestriel des temps nécessaires à l'entretien et au dépannage éventuel.

R. Lefèvre : **La tribologie. Problèmes et techniques qu'englobe ce terme, et qui concernent en particulier l'entretien** 589

Nature des problèmes intéressant les surfaces en fonction du régime de graissage : rodage, frottement, usures (par attrition, moléculaire ou d'origine électrique), grippages, frottement lubrifié. Graissage en régime limite. Transformation et traitement des surfaces.

J.M. Cavé : **Problèmes posés par la responsabilité des ingénieurs et des chefs d'entretien en matière de sécurité** 607

Les sanctions qui peuvent être prises après un accident du travail : sanctions d'ordre économique, indemnités à verser aux victimes ou à leur famille ; sanctions pénales. Sanctions possibles avant l'accident : amendes, emprisonnement, fermeture totale ou partielle de l'établissement pour non respect des règles de sécurité.

er : **La normalisation du matériel des usines** 615

ages économiques de la normalisation pour le producteur, l'utilisateur, le chef d'approvisionnement, la ion des stocks et la passation des marchés. Exemples de normalisation appliquée aux matériels sidé- giques.

aire des Mémoires Scientifiques 528

Avis Congrès, Manifestations 626

J. Soland : **Mantenimiento de las instalaciones de automatismo** .. ..

Problemas generales de mantenimiento. Principios del mantenimiento preventivo. Puesta en marcha de un sistema de mantenimiento. Formación del personal y gestión presupuestaria. Talleres e instalaciones anexas. Papel del mantenimiento en el estadio de la concepción de los equipos.

J.P. Schmit : **Los ordinogramas** .. ..

Definición y presentación de los simbolos. Asociación de los simbolos, definición de los estados constituyentes. Utilización de los ordinogramas con fines de reparación.

R. Sadeler : **Métodos de camino crítico. Estudio comparativo** .. ..

Estudio de los diferentes métodos de camino crítico. Caracteristicas de los sistemas. Dominios preferenciales de aplicación. Aplicación al mantenimiento.

P. Bresso : **Métodos de camino crítico : aplicación practica a un caso** .. ..

Selección del método a utilizar para el mantenimiento ; ejemplo. Análisis del caso. Confección, utilización y explotación del gráfico ; establecimiento del cuadro de carga.

J. Burton : **Mantenimiento programado de los instrumentos de medida y regulación** .. ..

Condiciones previas a rellenar : localizar los aparatos, los clasificadores, los matriculadores, los empadronadores, establecer la guia de mantenimiento. Establecimiento de los documentos de mantenimiento y de reparacion. Estado estadistico mensual y estado estadistico semestral en los tiempos necesarios para el mantenimiento y la reparación eventual.

R. Lefèvre : **La tribología. Problemas y tecnicas que engloban este termino, y que conciernen en particular al mantenimiento** .. ..

Naturaleza de los problemas interesando las superficies en función del regimén de engrase : rodage, frotamiento, desgastes (por roce, molecular o de origen electrico), agarrotamiento, frotamiento lubrificado. Engrase en regimén limite. Transformación y tratamiento de superficies.

J.M. Cavé : **Problemas planteados por la responsabilidad de los ingenieros y de los jefes de mantenimiento en materia de seguridad** .. ..

Las sanciones que pueden ser puestas después de un accidente de trabajo : sanciones de orden económico, indenizaciones a entregar a las victimas o a su familia ; sanciones penales. Sanciones posibles antes del accidente : multas, encarcelamiento, cierre total o parcial del, establecimiento por no respetar las reglas de seguridad.

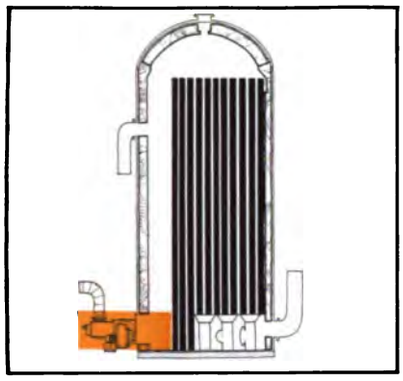
R. Schoepfer : **La normalización del material de las fabricas** .. ..

Ventajas económicas de la normalización para el productor, el utilizador, el jefe de aprovisionamiento, la gestión de los stocks y el paso de las mercancias. Ejemplos de normalización aplicada a los materiales siderúrgicos.

Tarif des abonnements 1972

Abonnement à la « Revue de Métallurgie » : France, Union Française	195 F	Etranger	2
le numéro	19 F	le numéro	
Abonnement aux « Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie » : France, Union Française	195 F	Etranger	2
le numéro	19 F	le numéro	
Tarif couplé pour l'abonnement aux deux publications France, Union Française	365 F	Etranger	4

Les déflecteurs de brûleurs en Alumine Tabulaire procurent une stabilité de flamme qui permet à la British Steel Corporation d'obtenir une meilleure admission de gaz dans les cowpers de ses hauts fourneaux.



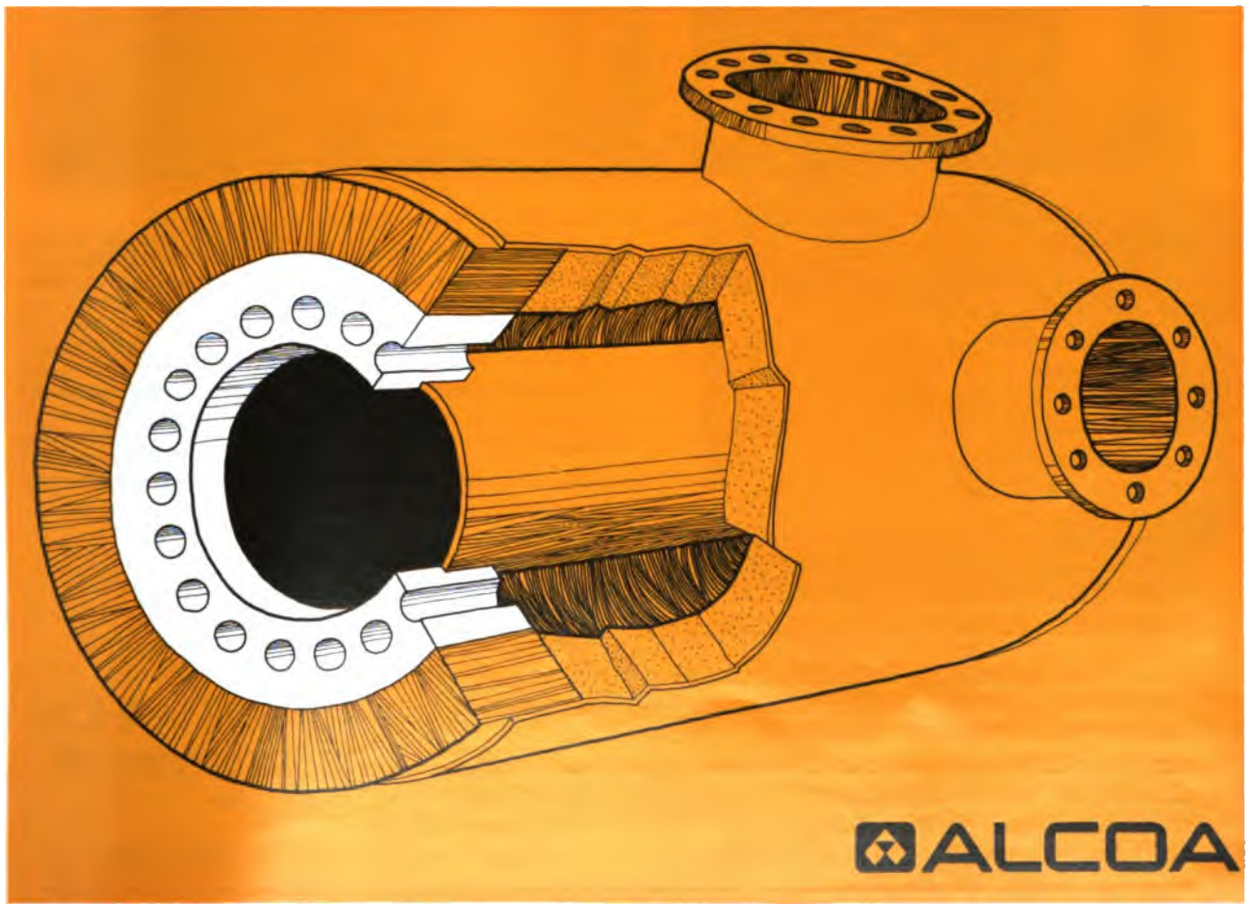
De nouveaux brûleurs de cowpers conçus avec un déflecteur spécial en Alumine Tabulaire, ont donné à la British Steel Corporation, Workington, la possibilité d'augmenter la consommation de gaz par unité de volume.

La hausse de température qui en résulte permet d'accroître l'intensité de chauffage de la chambre de distribution.
Cette admission plus forte est possible grâce à la stabilité de la flamme qui ne danse plus constamment.
L'Alumine Tabulaire Alcoa a été choisie comme le matériau réfractaire le plus apte à résister de façon satisfaisante aux variations thermiques extrêmes supportées par ces déflecteurs.
Les brusques changements de température causés par l'allumage et l'extinction commandés par une soupape à refroidissement par eau créent des gradients élevés de température et par conséquent des contraintes très fortes.
Dans ces brûleurs à haute capacité Urquhart-Bloom, les déflecteurs spéciaux en Alumine Tabulaire sont fournis par Hoben Davis Ltd.
Alumine Tabulaire Alcoa –
Le matériau réfractaire de longue durée et à performances supérieures.

Pour tout renseignement, écrivez aux adresses suivantes.
Distributeur en France:

Comptoir des Minéraux
et des Matières Premières
45, rue de Leningrad, Paris 8e.

Alcoa Eurocentre
Alcoa International Inc.
61, avenue d'Ouchy
1000 Lausanne 6, Suisse



l'incinération des boues par four à lit fluidisé système fluo-solids.

Innovente paris

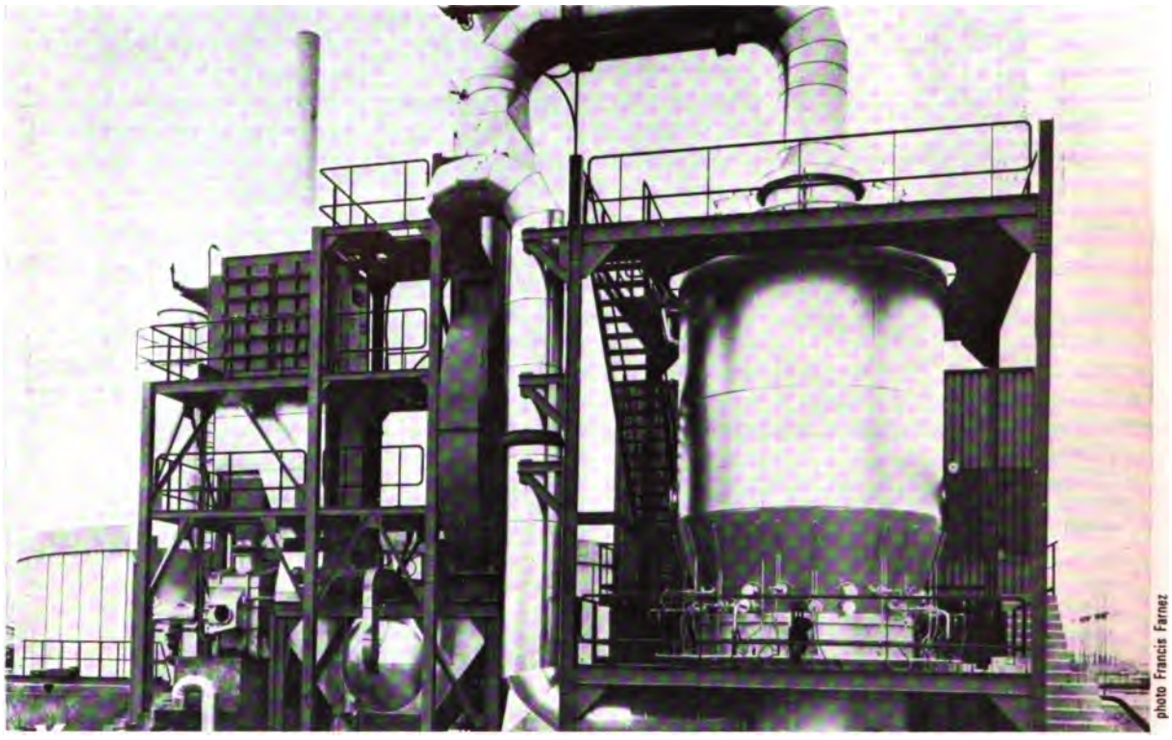


photo Francis Farnez

L'eau que nous venons d'épurer rejoint son milieu naturel... Contrat rempli...
Néanmoins nous ne considérons pas pour autant que notre travail de spécialiste soit achevé.
La pollution initialement dispersée dans les eaux a été concentrée et se retrouve sous la forme de boues résiduaires très humides.
Le problème de l'évacuation finale de ces résidus se pose avec acuité partout et notamment au sein des grandes communautés urbaines.

L'Omnium d'Assainissement apporte la solution.
Les techniques et matériels développés à cet effet assurent la déshydratation de ces boues ainsi que l'incinération des matières organiques qu'elles renferment.

C'est ainsi que la phase ultime de manutention des résidus est réduite à la simple évacuation de cendres inertes.
Ces techniques d'incinération ont été adoptées pour la première fois en France par la ville du Havre où le complexe "centrifugation-incinération" que l'Omnium d'Assainissement a réalisé, est à même de desservir 300.000 habitants (notre photo).

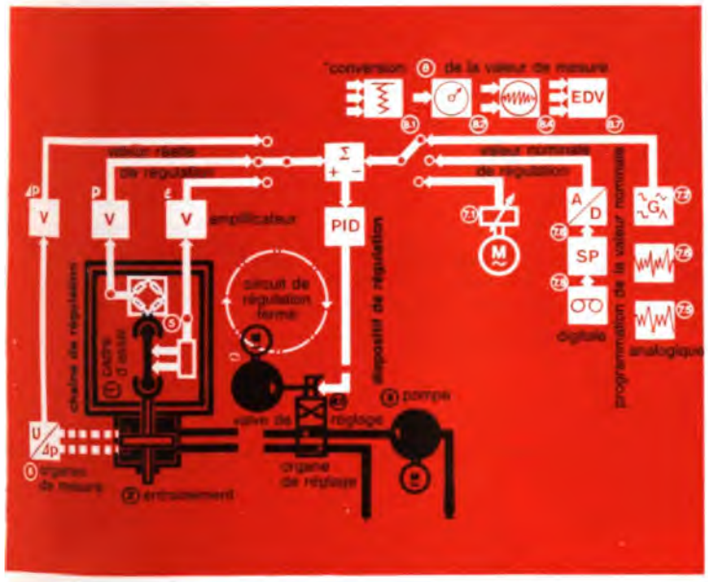
Opérationnel depuis 1969, cet ensemble permet de transformer quotidiennement les 500 mètres cubes de boues fraîches humides résultant du traitement des eaux, en 7 mètres cubes de cendres sèches.

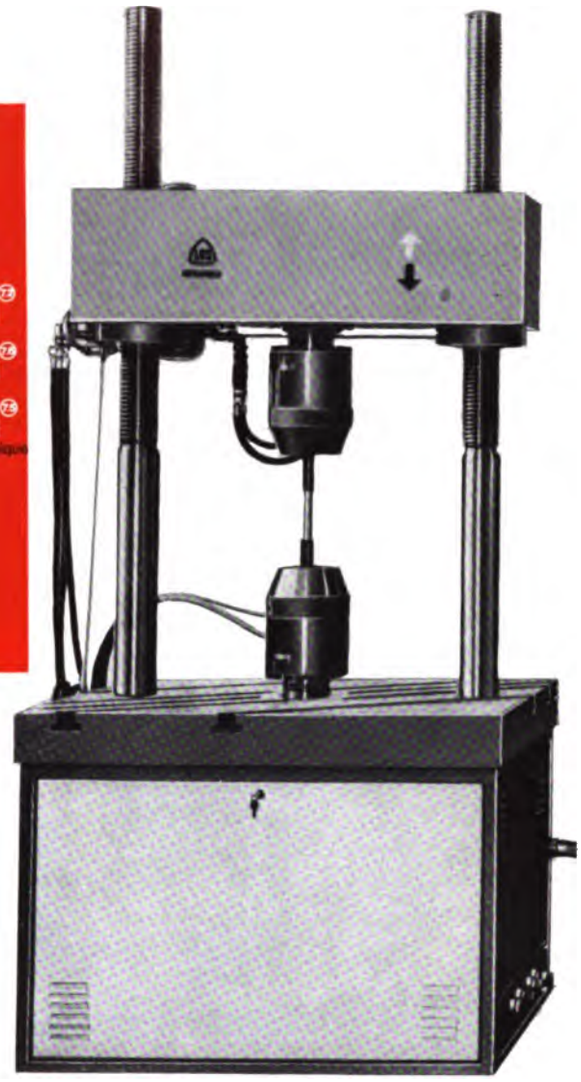
A ce jour, les techniques d'incinération de l'Omnium d'Assainissement ont été choisies par les villes suivantes : Achères (Ville de Paris, unité pilote), Boulogne-sur-mer, Brest, Lyon, Rouen, Saint-Tropez. Elles font appel au principe de l'incinération par four à lit fluidisé, système "fluo-solids".

Omnium d'assainissement
Spécialiste du traitement des eaux usées et des boues résiduaires
11 rue Roger Bacon 75-Paris 17 / 754.27.09 & 64.91

SYSTEME HYDROTEST HUS

Un système moderne, composé de blocs fonctionnels, spécialement adapté aux essais statiques, quasi-statiques, fatigue (closed loop control system) avec possibilité de programmation analogique ou digitale.





- **double circuit hydraulique indépendant** séparant l'alimentation du vérin de celle de la servo-valve. avantages directs de ce système : plus grande sensibilité aux faibles charges, arrêt facile de la machine en cas de panne sur le réseau alimentation électrique.
- **travail à haute pression :** 320 bars - vérin de faible encombrement.
- **bâti avec table rainurée,** grande rigidité, donc moins de perte au niveau de l'éprouvette
- **extensométrie :** 40 capteurs électroniques différents sont à votre disposition, tant pour la mesure sur éprouvettes que pour l'asservissement du circuit closed loop.

MOHR+FEDERHAFF+LOSENHAUSEN

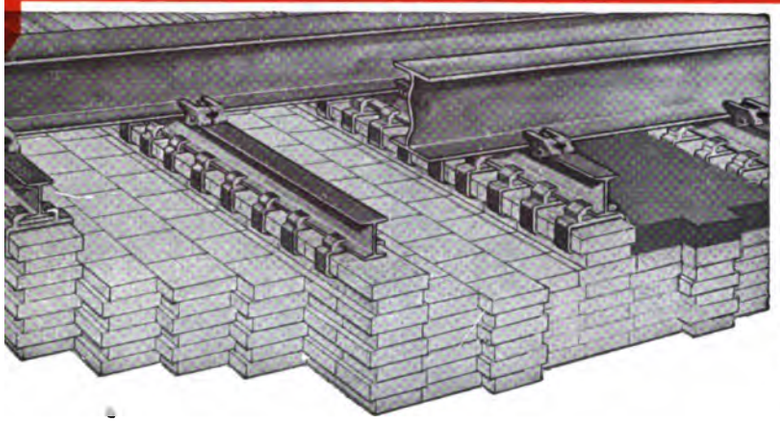
Société commerciale d'outillage moderne
14-16, rue Clément-bayard
92-LEVALLOIS-PERRET
Téléphone 270.24.40

UR TOUS FOURS INDUSTRIELS
IAUTES PERFORMANCES

en voûtes suspendues
DETRICK
(BREVETÉ S.G.D.G.)

dernier progrès : la "voûte MS" à supports multiples

RÉSULTAT DE NOTRE EXPÉRIENCE •••



avec la voûte à suspension réfractaire

"DETRED"

dont 15000 m² sont en service en :

FRANCE - BELGIQUE

ITALIE - ESPAGNE

Documentation sur demande

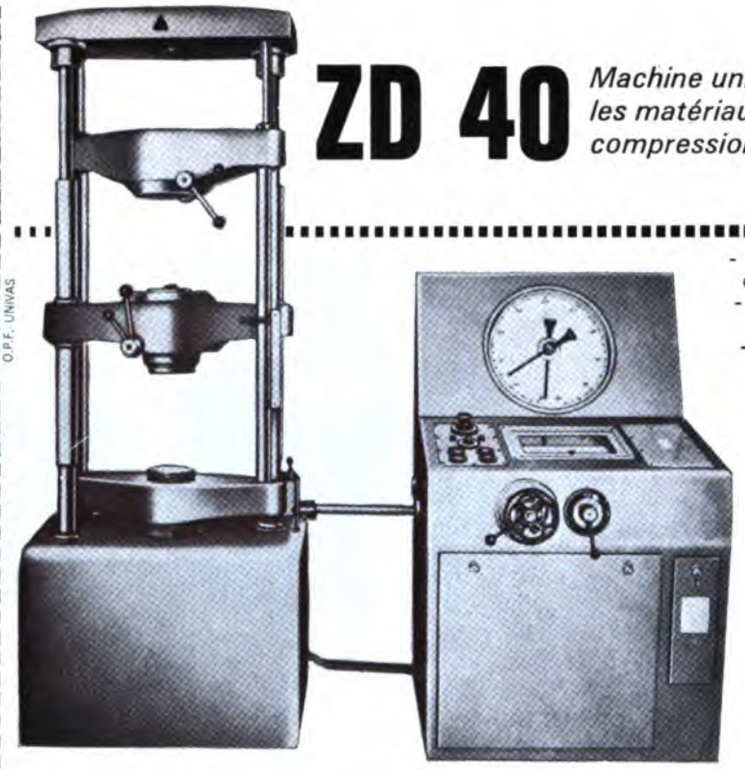
COMPAGNIE TECHNIQUE DES PETROLES
LICENCIÉ EXCLUSIF
1, RUE JULES-LEFEBVRE PARIS 9e 874-49-95

AUBERT ET DUVAL

41, RUE DE VILLIERS - NEUILLY-SUR-SEINE
TÉLÉPHONE : 624 88-30 - R. C. SEINE 56 B 1399
ADR. TÉL. : FALATAS-PARIS - TELEX 62.072

ACIÉRIE DES ANCIZES
(PUY-DE-DOME)

ACIERS SPÉCIAUX



ZD 40

Machine universelle à essayer les matériaux à la traction, compression, flexion, etc...

WPM

- Mesure des forces par un dynamomètre à barre de torsion à très faible inertie
- 4 gammes de charge commutables par un simple levier
- Poutre de traction inférieure réglable en hauteur par l'intermédiaire de 2 colonnes filetées commandées par un moteur électrique
  - Hauteur disponible égale en traction et compression
  - Dispositif à maintenir la charge constante
  - Systèmes automatiques de régulation des charges croissantes et décroissantes à vitesse constante
  - Enregistreur force allongement sur large bande (250 mm)
  - Accessoires pour essais de flexion, cisaillement et billage 5 et 10 mm.

Equipements complémentaires :
- Extensomètre électronique MKeA ou mécanique MK 3
- Pulsateur Pu 80/HA pour essais dynamiques
- Four pour essais à chaud ou à froid
- Possibilité sur demande de machines rallongées.

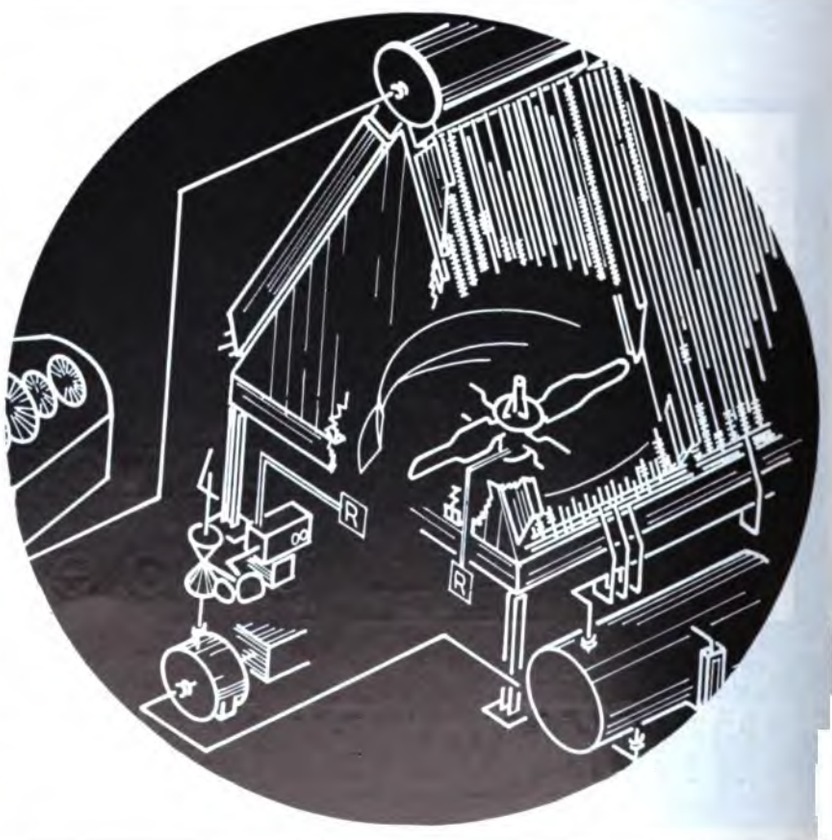
O.P.F. UNIVAS

VEB Werkzeugmaschinenkombinat "Fritz Heckert" — Betrieb Werkstoffprüfmaschinen Leipzig
République Démocratique Allemande

Exportateur :
intermed-export-import
Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik
102 Berlin - Schicklerstrasse 5-7 - R.D.A.

Représentation en France :
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE
48, Bd de la Bastille - PARIS 12e - Tél. : 344.12.34

UNE INSTALLATION COMPLETE D'AEROCONDENSATION DE VAPEUR CALCULEE, CONSTRUITE ET MONTEE PAR G.T.T. LUMMUS AVEC SES AUXILIAIRES ET SA REGULATION.



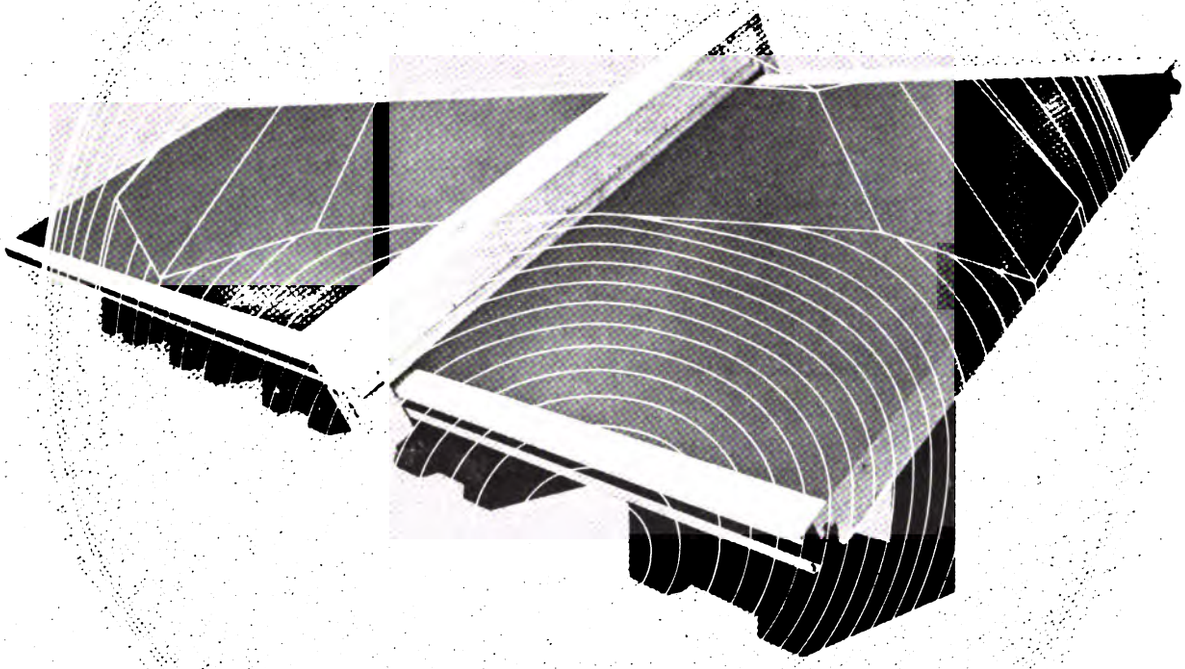
LUMMUS
GROUPE DE TRANSFERT THERMIQUE LUMMUS
Tour Aurore - 92 - COURBEVOIE
Tél. : 788.33.81 - Télex : TECHLUM 61.675 F

Fiabilité - Service

COMMANDES NUMÉRIQUES

de contournage

par ordinateur ou câblées



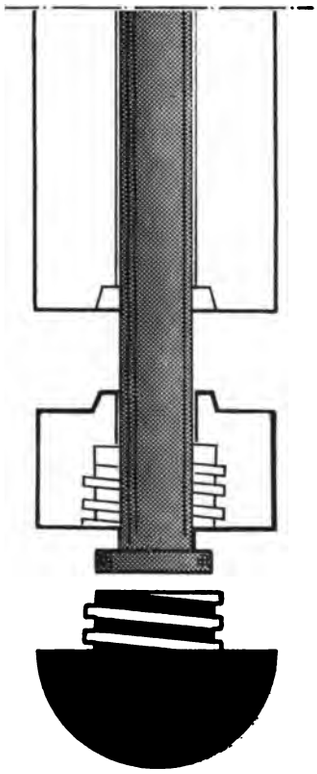
KONGSBERG VÅPENFABRIKK

SUCCURSALE FRANÇAISE
16, bd de la Reine
78-VERSAILLES
Tél. 950 24-77
Telex 690 23 F

- **Dessin et traçage**
- **Machines-outils**
- **Oxycoupeuses**

Quelle que soit la complexité de vos problèmes de commandes numériques

NOUS SOMMES A VOTRE DISPOSITION A 950-24-77



Seul TEMCO

le nouveau tampon composite par ses avantages inégalés

réduit vos coûts par :

- Sécurité d'emploi
- Résistance mécanique élevée
- Ouvertures fermetures franches
- Meilleure protection de la tige métallique de la quenouille

RPI 100

MORGAN THERMIC

Dépt. Réfractaires et Sidérurgie
tél. : 733.59.60 - 17, rue de Verdun - 92 - ASNIÈRES

O P F - UNIVAS

GROUPE DE COULÉE SEMI-CONTINUE D'ÉBAUCHES CREUSES EN ACIER

— assure l'obtention d'ébauches creuses pour la fabricati des tubes, des roues, des chemises et autres pièces ;
— réduit et simplifie le cycle technologique dans la fab cation des chemises et des tubes sans soudure ;
— réduit la mise au mille ;
— réduit les investissements d'implantation pour les atelie de fabrication de tubes et, en conséquence, améliore prix de revient des tubes ;
— garantit la qualité de la surface intérieure et de la su face extérieure des ébauches creuses et apporte u amélioration de leur macrostructure ;
— permet d'obtenir des ébauches creuses dont les vari tions d'épaisseur ne dépassent pas 2 à 4 % suivant l longueurs et les sections.

Exportateur :

MACHINOEXPORT

Moscou V-330 (U.R.S.
Télex : 207

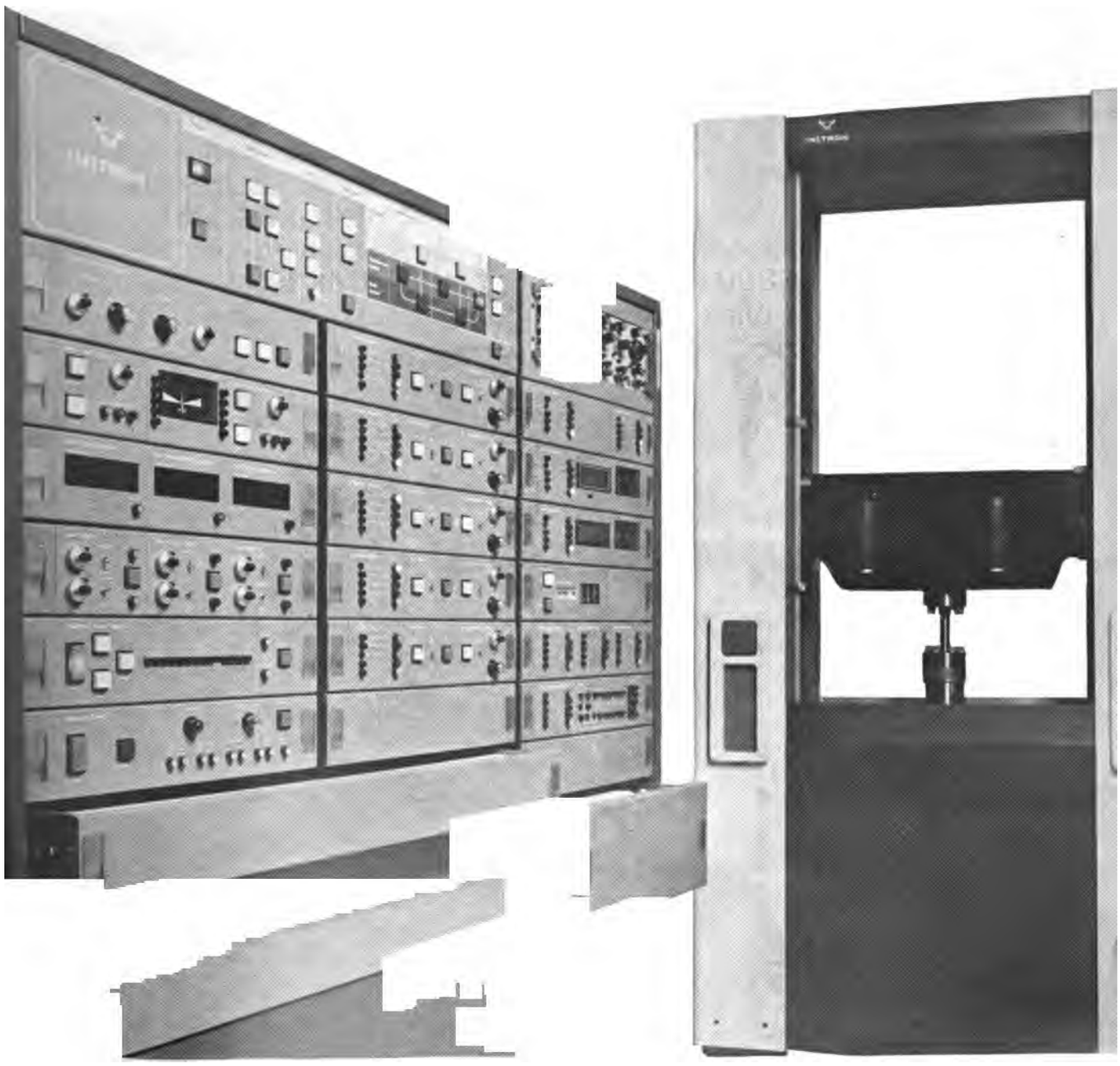
Représentation pour la France :

Jean PELLAGNIEN
46 à 48, rue de Sèvres — 92 - VILLE-D'AVRA
Tél. : 945-50-17

Instron—Dynamique

. . . et statique. Avec la nouvelle gamme 1250 Instron allie les possibilités de réponse élevée en dynamique aux grands allongements en statique sans compromis. Celle nouvelle gamme d'appareils apporte une réponse complète aux exigences d'essais les plus difficiles. Cyclage à pleine charge jusqu' à 100 hertz, transfert des paramètres exempt d'à coups, conception entièrement modulaire, grande souplesse d'utilisation — telles sont quelques unes des caractéristiques de cette nouvelle gamme 1250. Contactez nous des maintenant pour obtenir de plus amples renseignements.

Instron SA, 89 rue de la Tour
Paris 16e
Téléphone 870-84-91,
Telex 27054



Le 880 K connait la même réussite que le 770

"C'est moi qui roule"

Pour moi, le confort n'est pas un luxe mais une nécessité, parlons-en...

Le confort est un des points de supériorité du 880 K.

La cabine est une 3 places, une vraie 3 places avec plancher continu, sans tunnel pour le moteur. Intérieur entièrement capitonné. Déflecteurs, 2 ouvertures d'aération chauffage. Le pare-brise de 1,227 m² est très panoramiq

L'entretien est-il facile ?

Oui, la plupart des vérifications s'effectuent à hauteu d'homme en ouvrant le volet de calandre.

Et la conduite ?

La direction est douce et précise. La boîte a 5 rapports synchro, intelligemment étagé Elle permet les reprises brillantes en ville et les moyennes appréciables sur route.

Le 880 K est-il maniable et pratique en ville ?

Il est idéal pour décrocher, virer, se faufiler. On peut sortir à droite sans acrobatie. Le plateau à 1 m du sol facilite les déchargements.

Et sur route ? Le 880 K peut très bien faire de la moyenne distance. Le confo poussé de sa cabine, une excellente suspension, la possibilité de tenir la moyenn le lui permettent plus qu'aisément.

Quelques questions à son propos.

"C'est mon argent qui roule"

Pour employer un mot à la mode, le 880 K est-il "fiable" ?
Il l'est, le moteur est parfaitement au point. Il a fait ses preuves sur le tas.
A ce jour, 21.000 exemplaires ont été fabriqués. Toute la construction est d la même robustesse. Pratiquement aucun problème d'après-vente.

Peut-on en dire autant du freinage ? Sans hésitation. Pour l'efficacité, une surface de garniture de 3309 cm^2. Et la longévité est prouvée.

Le 880 K est-il souple d'emploi ? Très. Sa conception, la répartition des charges, la stabilité lui permettent d'être aussi brillant en plateau, fourgon, citerne frigo, benne, etc.

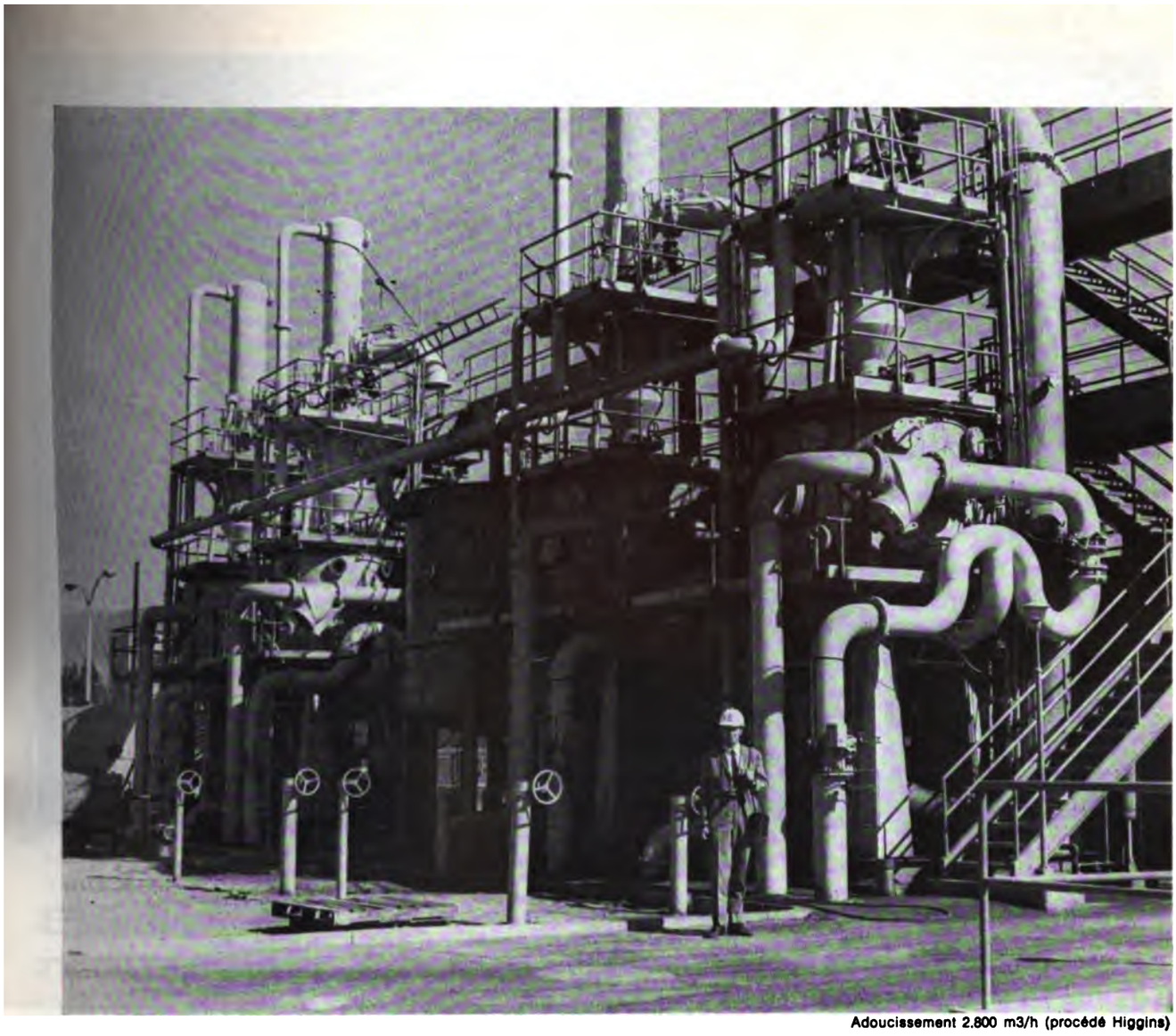
Peut-il assurer le transport d'une équipe de travail ? C'est un avantage particulier de ce modèle : il peut être réalisé de série en version 7 places, 4 portes.

Peut-il être utilisé sur les chantiers ? Encore une de ses supériorités : grâce aux fortes sections du châssis, 250 mm de haut, 70 mm pour l'aile de longeron (comparez ces chiffres avec ceux des autres...). Grâce au blocage du différentiel qui permet de se "sortir". Grâce aux ailes enveloppantes qui évitent les projections de boue.

CONCLUSION : Le succès du 880 K enchaînant sur celui du 770 K est dû à sa conception. Ce n'est pas une "camionnette gonflée". C'est un véritable "poids lourd", construit dans un esprit "poids lourd" par un spécialiste du "poids lourd". Bref, comme on dirait en boxe, un "lourd-léger". Et ça change tout...

Et un Berliet se revend toujours mieux.

berliet



Adoucissement 2.800 m3/h (procédé Higgins)

CTE : de l'eau ennoblie au coût le plus bas.

La différence n'est pas mince.
A chacun de vos problèmes d'eau industrielle (fabrication, alimentation, refroidissement), C.T.E. vous propose le traitement et l'installation les plus fiables, les moins coûteux à l'exploitation et technologiquement les plus avancés, pour un résultat garanti.
La maîtrise de l'expérience de C.T.E. et les hommes qui s'y trouvent réunis, vous apportent plus.

Compagnie Européenne de Traitement des Eaux
4, rue du Général Foy / Paris 8e / Tél. 522.78.90

innovente-paris

étude fabrication entreprise

NOR DUNKERQUE : SALLE DE CONTROLE DU HAUT FOURNEAU III

INSTRUMENTATION
Instrumentation pneumatique et électrique
Traitement des informations par calculateur
Préréglage. Mise en service. Maintenance.

ÉQUIPEMENTS
Centrale thermique
Postes de Transformation électrique
Équipement électrique des unités et des off-sites
Postes de chargement
Chargement wagons-citernes - camions citernes

FABRICATIONS
Salles de contrôle
Tableaux et pupitres
Armoires d'automatismes

TRINDEL INFORMATIQUE
Software - Hardware

travaux industriels pour l'électricité

TRINDEL

44, RUE DE LISBONNE, PARIS VIIIe - TEL. 522.19.09

EDITION PUBLICITE E.L.

SPECTROGRAPHIE D'ÉMISSION ÉVOLUE...

ꝛ EST A LA DÉCHARGE LUMINESCENTE

exclusive **RSV**

e des traces jusqu'aux très hautes teneurs

ession des effets de tiers-éléments
ification des problèmes d'étalonnage)

té exceptionnelle

ıe à profondeur variable

Agent Exclusif pour la France
INTERLABE
11, rue du Dr Desfossez
92 SAINT-CLOUD
Tél. 602-03-28

S V
orf/Pilsensee
ıne Fédérale

TALLATION COMPLETE DE LABORATOIRES
D'ANALYSE SPECTROCHIMIQUE
SERVICE APRES-VENTE

RÉFRACTAIRES

Produits à différentes teneurs d'alumine et de silice.
Produits spéciaux de carbure de silicium,
d'alumine tabulaire, de zircon, de mullite, d'oxyde de chrome.
Produits spéciaux de silice fondue "Glasrock".

ÉNERGIE NUCLÉAIRE • TECHNIQUES NOUVELLES
Dosimètres — Incinérateurs — Fours spéciaux.

SANITAIRES

Appareils sanitaires et de laboratoire
en grès émaillé ou en porcelaine vitrifiée.
Carreaux de revêtement
(avec les Ets Fourmeintraux Delassus et C.E.C.).

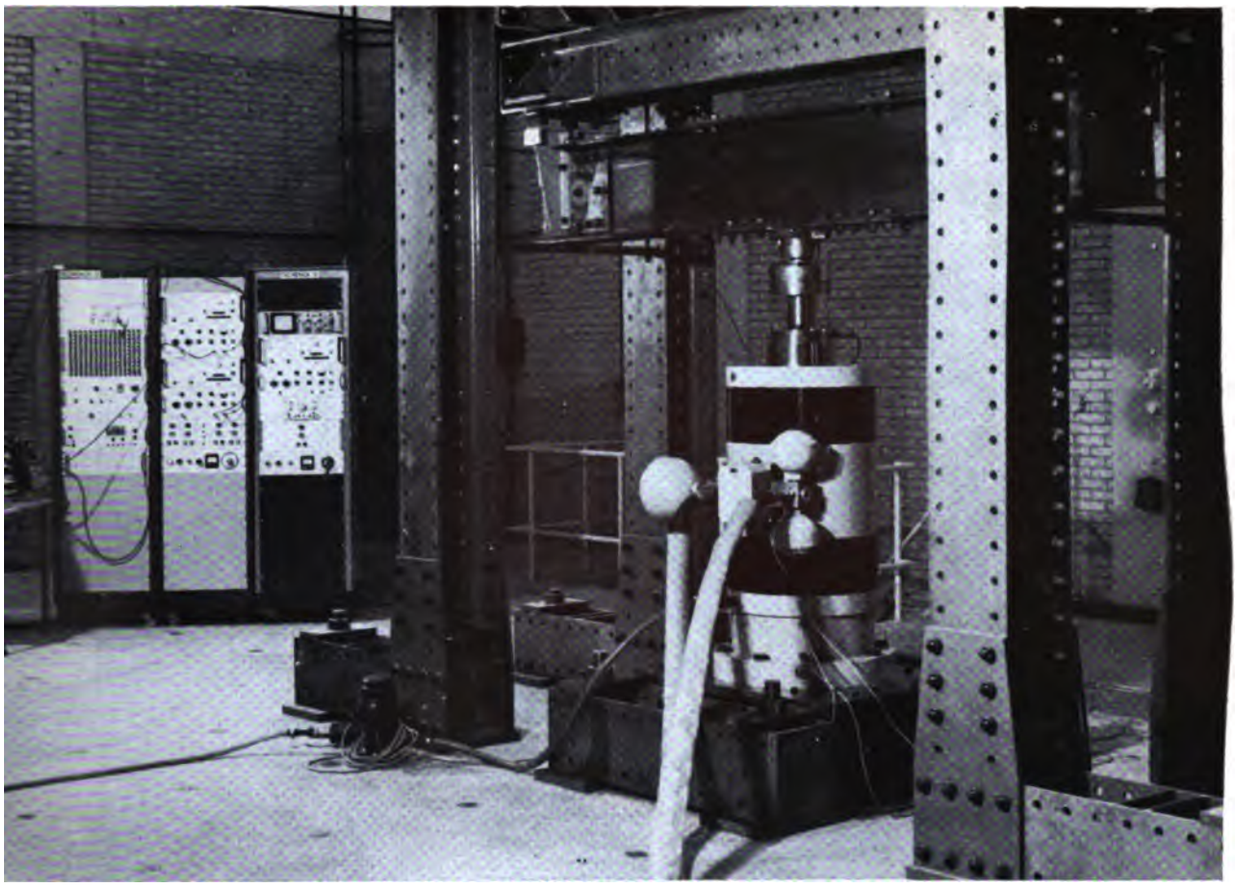
CONSTRUCTION

ENTREPRISE GÉNÉRALE

- d'installations complètes de cokeries avec fours, de manutention de charbon et de coke, de traitement de gaz et récupération des sous-produits ;
- d'usines à gaz et d'activités diverses.
- de fours à chaux verticaux C.E.C. licence WEST'S
- d'usines d'incinération des résidus urbains avec ou sans récupération de chaleur.

CEC

CARBONISATION ENTREPRISE ET CÉRAMIQUE
Société anonyme au capital de 47.040.000 francs
4 et 8, place des États Unis - 92 - MONTROUGE - FRANCE
TEL. 253 78.10 et 735 34.20 - TELEX 27.223
CORRESPONDANCE B.P. 60 - 92 - MONTROUGE



Installation Hydropuls chargée des essais avec un support T.

Essais modernes

La technique moderne aux exigences toujours plus grandes, quant à la puissance, fiabilité et longévité et à cause de l'utilisation de matériaux particulièrement étudiés, qui en résulte, impose des méthodes d'essais modernes. Les résultats retirés des méthodes, déjà connues, doivent être améliorés si l'on veut exploiter aux maximum les propriétés des matériaux.
L'essai de traction fournit des connaissances nouvelles si la courbe des déformations plastiques peut être déterminée sans être influencée par les caractéristiques de la machine. **La résistance à la fissuration** permet de coordonner la profondeur de la fissure à la charge et fournit ainsi un ceritère quantitatif de rupture.
L'essai de résistance aux vibrations de courte durée détermine les propriétés de matériaux métalliques dans le domaine de déformation situé au delà des déformations élastiques: A partir de ces résultats, on obtient des connaissanceséssentielles techniques et physiques.
La tenue en service caractérise la résistance aux vibrations en cas de sollicitations à variation quelconque et elle est déterminée **au cours d'essais à programme, d'essais Random** ou par l'établissement d'hypothèse **d'accumulation de dommage** en liaison avec des essais d'endurance aux vibrations à un échelon.
L'extrême sollicitation des constructions modernes par l'action combinée de facteurs chimiques, physiques et mécaniques conduit aux essais **de résistance des matériaux synergétiques** au cours desquels de plus grand nombre possible de facteurs d'influence sont reproduit simultanément.
Pour la plupart des problèmes d'essais nouveaux ou conventionnels SCHENCK fournit les machines d'essais adaptées.
Nous vous invitons à demander des documents d'information et le conseil averti de nos ingénieurs spécialisés.

Carl Schenck Maschinenfabrik GmbH · D-61 Darmstadt · Allemagne

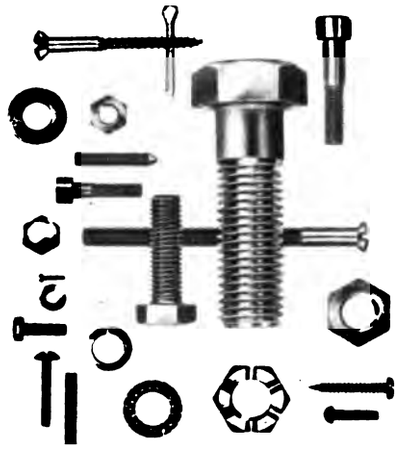
Filiales pour la France: SCHENCK-FRANCE · 12 Villa Laugier, F-75 PARIS 17e, tél. 924 63 73-75, télex 29 350
31 Quai Rambaud, F-69 LYON 2e, tél. (78) 42 73 91
4 rue de Belford, F-31 TOULOUSE 01, tél. 62 41 01, télex 48 908

UGIVIS

stocke pour vous tous articles de visserie boulonnerie en acier inoxydable

Acier 18/10 et 18/12 MO
Réfractaires : 24/12 (NS 24)
25/20 (NS 30)
Pour corrosion sévère NSCD et titane

Publicité Yves Alexandre/R. Chorand - Paris



=U=V=

UGINOX

UGIVIS-PARIS 9, rue de la Py, 75-Paris 20e
Tél. 797.01.49 ou 53.49

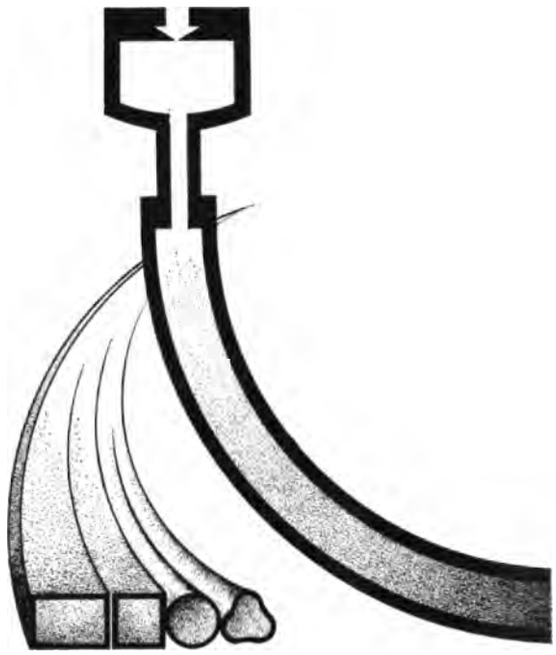
RHONE-ALPES
211, Av. F. de Préssensé
69-Vénissieux
Tél. (78) 69.14.51

TOULOUSE
39, route de Paris
31-Lacourtensourt
par Aucamville
Tél. (61) 85.97.62

MARSEILLE
131, Bd de la Barasse
13-Marseille-Barasse
Tél. (91) 43.10.12

LILLE
Avenue Kuhlmann
59-Loos-les-Lille
Tél. (20) 57.73.35

NANTES Z.I.L. rue du Chêne Lassé
44-Nantes Saint-Herblain Tél. (40) 72.52.38



Depuis 20 ans déjà, MACHINOEXPORT développe s activités avec des Firmes de nombreux Pays pour les

INSTALLATIONS DE COULÉ CONTINUE DE L'ACIER

Cette technique simplifie considérablement le lamina en permettant la suppression des trains dégrossisseu d'automatiser le procédé de production, d'obtenir un mé de haute qualité et de réduire la mise au mille.

Les installations de coulée continue peuvent être réa sées suivant différentes versions : puits ou fosse, to radiale ou curviligne.

— elles peuvent avoir de 1 à 8 lignes coulant simultanéme la même section ou des sections différentes dans l dimensions allant du carré de 65 mm de côté à la bra de 200 × 1 850 mm.

On peut couler des demi-produits :

— en acier au carbone (calmé ou effervescent) ;

— en aciers spéciaux plus ou moins alliés (aciers de co truction, à ressorts à outils, au silicium pour circu électriques, inoxydables, etc., etc.).

Exportateur :

MACHINOEXPORT

Moscou V-330 (U.R.S.S.) - Télex : 207

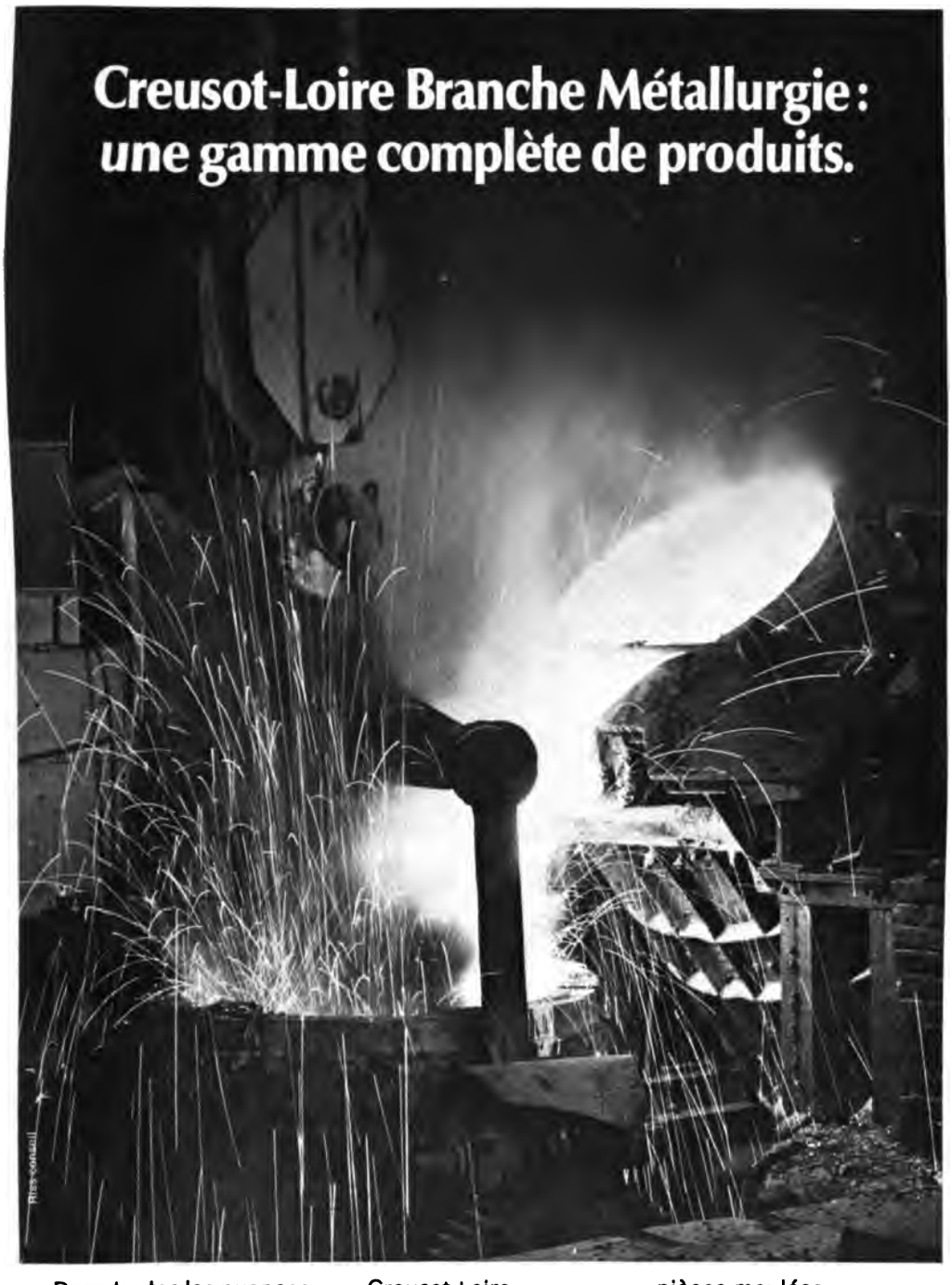
Représentation pour la France :

Jean PELLAGNIEN

46 à 48, rue de Sèvres — 92 - VILLE-D'AVR

Tél. : 945-50-17

Creusot-Loire Branche Métallurgie : une gamme complète de produits.



Dans toutes les nuances d'aciers fins et spéciaux et de super-alliages : aciers de construction au carbone et alliés, aciers inoxydables et réfractaires, aciers rapides et d'outillage, alliages à propriétés spéciales garanties.

Creusot-Loire Branche Métallurgie propose sa large gamme de productions : produits laminés à chaud (barres et fils, produits pour tubes, tôles fortes et moyennes, tôles magnétiques), produits transformés à froid (étirés, tréfilés, feuillards et tubes), pièces forgées, matricées, estampées, pièces moulées pour toutes industries, tubes centrifugés. Et toutes ses autres fabrications : machines et outils de coupe, carbures et outils montés, appareils de mesure et de contrôle.

CREUSOT-LOIRE
Branche Métallurgie
12, rue de La Rochefoucauld
75-Paris 9e. Tél. 282 22 00

FONDERIES DE NOGENT

LAFEUILLE & Cie

●

Service Commercial : 79-81, rue d'Aguesseau

92 - BOULOGNE - France

Tél. : 605-79-50 Télex : 29.163 Service 226

Usine à NOGENT-SUR-OISE (60) France

▼

PIÈCES MOULÉES
PIÈCES DE COULÈE CENTRIFUGE
PIÈCES DE COULÉE SOUS PRESSION
PIÈCES FORGÉES

▲

TUYERES A VENT pour hauts fourneaux

EMBOUTS pour lances à oxygène

en cuivre électrolytique **chimiquement pur,** exempt d'oxygène, à très haute conductibilité thermique

PINCES D'ELECTRODES
PLAQUES DE CONTACT

en cuivre chrome traité thermiquement, à hautes caractéristiques mécaniques et électriques

LINGOTIERES MONOBLOC
pour coulée continue de l'acier
(Brevet S.A.F.E.)

en cuivre chrome zirconium traité thermiquement

ECROUS DE PRESSION
SAVONNETTES D'ALLONGE

en laiton H.R. UZ 23 A 4 - UZ 19 A 6 - S.A.E. 430 B

CLÉ de SÉCURITÉ

Pour manipulation de

RAILS
PROFILES
BILLETTES
BLOOMS
LARGETS, etc.

AUTRES DEPARTEMENTS :

Masques anti-poussières
Signalisation au sol
Panneaux de prévoyance
Casques, bottes, gants...

LES ENFANTS DE J. MERCIER

19, rue Emile-Friant - 54 - NANCY 01

Tél. : (28) 53-55-09

Agence à 60 - COMPIEGNE, 52, rue de Senlis

Tél. : (4) 440-31-16

RÉGIE PUBLICITÉ INDUSTRIELLE

36, rue du Fer-à-Moulin

PARIS-Ve

Tél. : 707-53-39

assure désormais la Régie de la publicité de

"LA REVUE DE MÉTALLURGIE

et des

"MÉMOIRES SCIENTIFIQUES

Le plus important Manipulateur Automobile de Forge du Monde en Service

Notre manipulateur automobile de forge d'une capacité de 12.000 kg et d'une couple de charge de la pince de 24.000 kg/m dans une forge à marteaux-pilons à Remscheid.
La commande du manipulateur de forge est electrohydraulique. La vitesse de marche et la vitesse de rotation de la pince sont réglables sans a-coups. Les pompes à huile sont actionnées par des moteurs électriques d'une puissance totale de 112 kW. La machine est alimentée en courant par un câble volant. Le poids de la machine s'élève à 68 tonnes.

Autres produits DDS:
Manipulateurs de forge sur rails,
Chargeuses à auges et à pinces,
Boucheuses et Perforatrices de trou de coulée,
Sondes à gaz de hauts fourneaux,
Humidificateurs de poussières de gueulard,
Epurateurs d'eau automatiques

DANGO & DIENENTHAL KG · 59 SIEGEN

(Allemagne Occidentale)

Représentant pour la France:
SOLOCUIVRE S.A. · B. P. 235 · 57 Sarreguemines · Tél. 21422

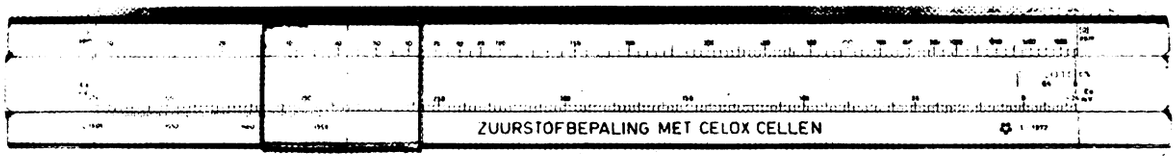
Détermination de l'oxygène libre dans les bains d'acier en fusion.

Le Celox

Sonde industrielle et interchangeable qui, après immersion, délivre 2 tensions qui sont représentatives à la fois de l'oxygène libre et de la température.

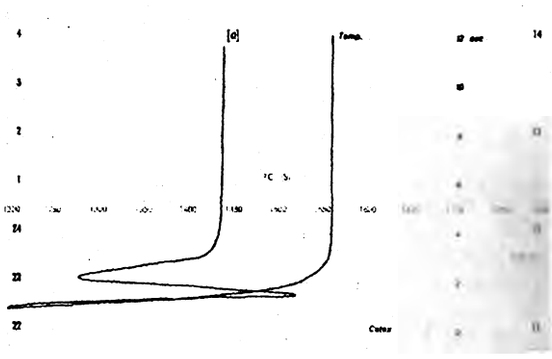
La netteté des courbes enregistrées permet, au moyen d'une règle à calcul conçue à cet effet, d'obtenir très rapidement la valeur de l'oxygène libre, donnée en ppm.

L'ordinateur peut également traiter directement les informations données par la sonde.



Le Celox a été mis au point par Electro-Nite en collaboration avec le Centre de Recherches Métallurgiques, Liège-Belgique et certains utilisateurs directs, ce qui nous a permis de mettre sur le marché une sonde industrielle parfaitement fiable dont la précision est excellente et la manipulation simple et très aisée:

- Encombrement réduit permettant une pénétration facile et un bon positionnement de la lance.
- Temps de réponse: inférieur à 6 sec.
- Peut être utilisée sur la même lance que celle du Positherm.



Notre personnel spécialisé est à votre disposition pour vous donner toute information complémentaire et effectuer une éventuelle démonstration dans vos usines.

Electro-Nite n.v.
Grote Baan 27a
B 3530 Houthalen (Belgique)

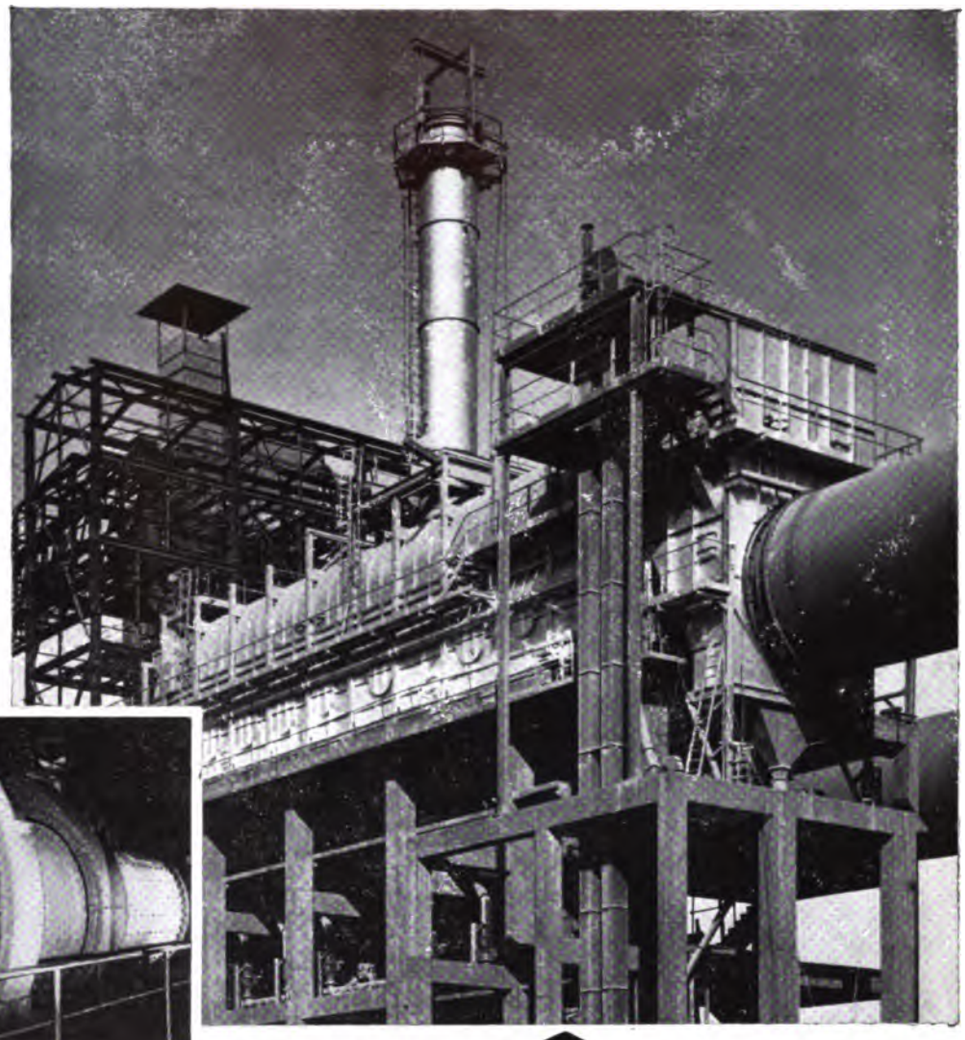
Electro-Nite France s.a.r.l.
70, Avenue de la Gare
F-54 Mont-Saint-Martin (France)

Universellement appréciées dans les industries cimentières

POLYSIUS

adapte ses techniques à la préparation des minerais pour la

SIDÉRURGIE



Broyeur sécheur double rotateur

Four LEPOL à double passage des gaz.

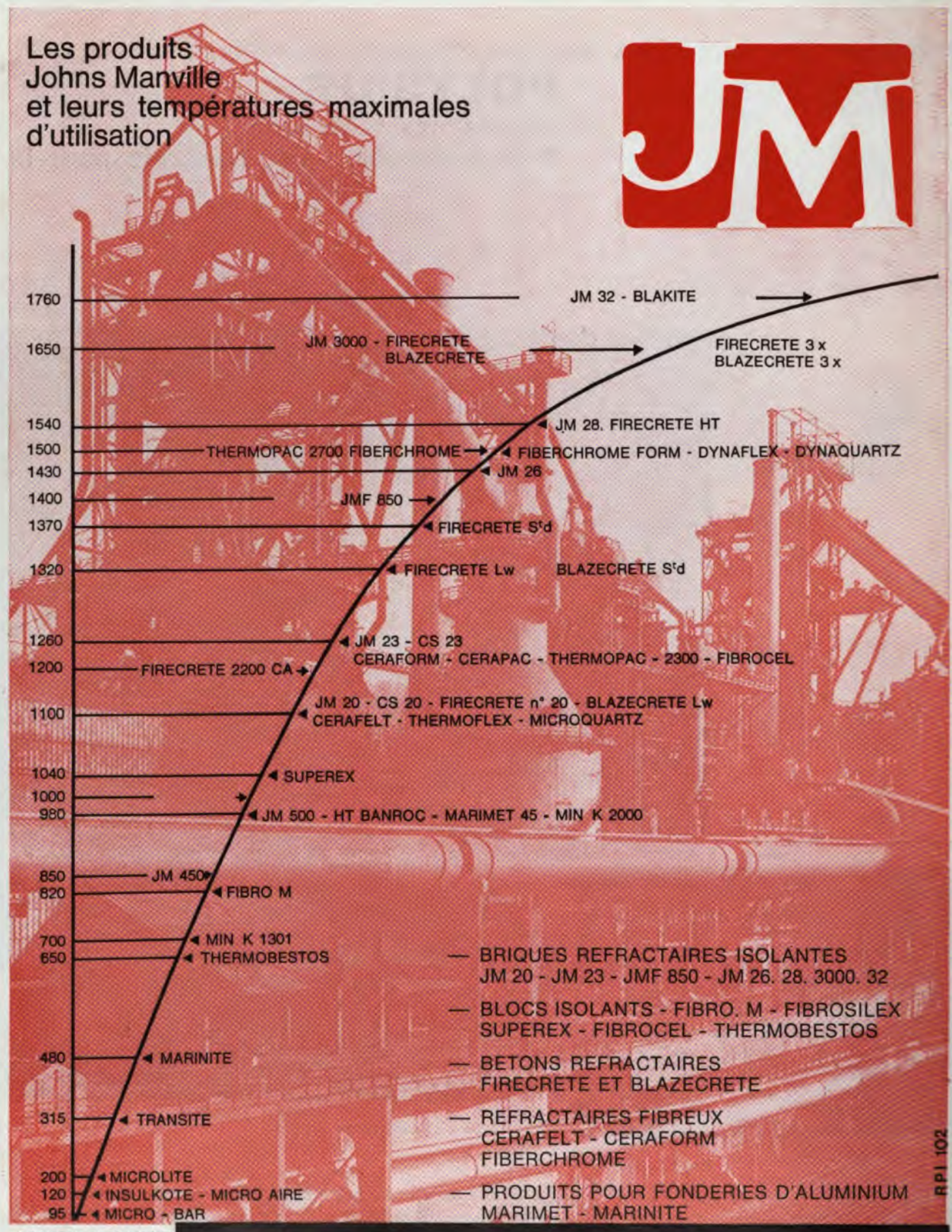
OCTAP 29

POLYSIUS

Station d'essai et laboratoires. Projets et plans d'installation d'ateliers complets. Extraction et dosage. Manutentions mécaniques Concassage. Séchage rapide. Broyage et broyage-séchage par double rotateur. Transport pneumatique et homogénéisation. Fours LEPOL et refroidisseurs. Transformation de fours rotatifs longs en LEPOL. Appareillages électriques, contrôle et régulation. Montage et mise au point.

3, avenue Paul-Doumer - 92 - RUEIL-MALMAISON

Tél. : 977.05-03 Télex : 69 329



JOHNS MANVILLE
JM
PRODUCTS

JOHNS-MANVILLE DE FRANCE

9-11, rue du Colonel de Rochebrune
92 - RUEIL-MALMAISON
Tél. : 967.50.00 ★ 967.84.75
Télex : Johnmanvil 60.089 Rueil

informations économiques

France

le marché de l'acier

La situation satisfaisante du marché français de l'acier que l'on observe depuis quelques mois s'est poursuivie au cours de l'été bien que, durant cette même période, une certaine détérioration soit apparue chez nos proches voisins, la Belgique, les Pays-Bas et surtout l'Allemagne où la reprise tarde à se manifester ; par contre, le marché italien est en expansion.

Les commandes totales d'aciers courants enregistrées par les usines sidérurgiques françaises ont conservé en juillet et en août le niveau très satisfaisant du mois de juin. Pour les huit premiers mois de l'année, leur moyenne est supérieure de 4,5 % à celle de la période correspondante en 1971.

Sur le marché intérieur, la situation est bonne dans le secteur des industries de la première transformation ; les industries produisant des biens d'équipement demeurent bien orientées notamment l'industrie automobile. L'évolution est moins favorable pour le bâtiment et les travaux publics.

Le marché est ferme pour tous les produits à l'exception du rond à béton.

Bonne activité sur les marchés à l'exportation. La reprise n'est pas due aux commandes enregistrées sur les autres marchés CECA étant donné leurs difficultés, mais à celles provenant des pays tiers, y compris ceux de la zone franc. Des tonnages importants ont été commandés en juillet/août à la sidérurgie française par la Grande-Bretagne, la Suisse, les Pays Scandinaves, les Etats-Unis et le Canada. Les prix à la grande exportation ont tendance à progresser.

Dans l'ensemble, on peut considérer que la situation du marché est satisfaisante, mais compte tenu de la faiblesse de certains marchés, tels que le marché allemand, la confirmation du caractère durable du redressement général ne pourra être apportée que par les résultats de la fin de l'année 1972 et même du début de 1973.

Nouvelles brèves

LA PRODUCTION

Production sidérurgique française aux mois de juillet et août 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Juillet 1972	Août 1972	8 mois 1972	Juillet 1971	Août 1971	8 mois 1971	Variation 8 mois 1972 / 8 mois 1971
Fonte brute	1 263	1 313	12 404	1 251	1 230	11 894	+ 4,3 %
Acier brut	1 635	1 598	15 633	1 559	1 473	14 786	+ 6,1 %

Production d'acier des pays membres de l'Institut International de l'Acier (I.I.S.I.).

(en 1 000 tonnes)

Pays	Juin 1972	Juillet 1972	Juin 1971	Juillet 1971
France	1 976	1 628	1 784	1 553
Belgique	1 271	1 045	1 101	1 046
Allemagne	3 854	3 810	3 647	3 621
Italie	1 674	1 720	1 412	1 451
Luxembourg	465	460	457	485
Pays-Bas	433	459	435	458
Total C.E.C.A.	9 673	9 121	8 834	8 613
Autriche	346	356	343	348
Danemark	44	39	46	37
Finlande	113	90	97	41
Norvège	74	35 (*)	76	34
Espagne	807	791	695	666
Suède	390	102	396	158
Grande-Bretagne	2 227	1 908	1 863	1 757
Canada	1 015	966	984	899
Etats-Unis	9 961	9 406	10 425	9 019
Argentine	183	181	161	182
Brésil	546	576	504	531
Chili	58	56	58	54
Mexique	340	361	307	323
Venezuela	88	108	83	89
Australie	491	556	570	618
Inde	457	548	491	447
Japon	7 712	8 234	7 044	7 273
Afrique du Sud	423	441	394	435
Total	34 948	33 872	33 371	31 522

(*) Estimation.

LES APPROVISIONNEMENTS

Production de minerai de fer aux mois de juin et juillet 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Juin 1972	Juillet 1972	7 mois 1972	Juin 1971	Juillet 1971	7 mois 1971	Variation 7 mois 1972 / 7 mois 1971
Minerai de fer marchand	4 982	2 687	32 007	5 157	5 209	35 104	— 8,8 %

Démarrage d'un « oxytonne « de 550 t par jour à Longwy.

Le Département de construction de l'Air Liquide a démarré avec succès à Longwy une installation de production d'oxygène et d'azote pour le compte de la Centrale d'Oxygène Sidérurgique. La capacité de cette installation est de 550 t/j d'oxygène et de 200 t/j d'azote, tous deux à haute pureté.

LES TRANSPORTS

Trafic sur la Moselle canalisée aux mois de juin et juillet 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Juin 1972	Juillet 1972	7 mois 1972	Juin 1971	Juillet 1971	7 mois 1971	Variation 7 mois 1972 / 7 mois 1971
Exportations de France	397	274	2 103	373	312	2 138	— 1,6 %
Importations de France	399	299	2 162	400	381	2 705	— 20,1 %
Total	786	573	4 265	773	693	4 843	— 11,9 %
Trafic effectué par la sidérurgie	85 %	84,3 %	78,7 %	85,4 %	89,5 %	86 %	— 18,4 %

LE MARCHE

Exportations sidérurgiques françaises aux mois de juin et juillet 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Juin 1972	Juillet 1972	7 mois 1972	Juin 1971	Juillet 1971	7 mois 1971	Variation 7 mois 1972 / 7 mois 1971
Pays CECA	Fontes	28	25	164	21	21	163	+ 0,6 %
	Aciers courants	279	247	1 862	241	252	1 669	+ 11,6 %
	Aciers spéciaux	22	18	129	14	15	96	+ 34,4 %
	Total	329	290	2 155	276	288	1 928	+ 11,8 %
Zone Franc	Fontes	—	—	—	—	—	—	—
	Aciers courants	38	36	275	37	35	233	+ 18 %
	Aciers spéciaux	—	—	1	—	—	3	+ 66,7 %
	Total	38	36	276	37	35	236	+ 16,9 %
Pays tiers	Fontes	9	12	70	6	17	49	+ 42,9 %
	Aciers courants	308	267	2 022	310	274	2 099	— 3,7 %
	Aciers spéciaux	12	10	72	9	10	60	+ 20 %
	Total	329	289	2 164	325	301	2 208	— 2 %
Tous pays	Fontes	37	37	233	27	38	212	+ 9,9 %
	Aciers courants	625	550	4 160	588	561	4 001	+ 4 %
	Aciers spéciaux	34	28	202	23	25	159	+ 27 %
	Total	696	615	4 595	638	624	4 372	+ 5,1 %

Importations sidérurgiques françaises aux mois de juin et juillet 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Juin 1972	Juillet 1972	7 mois 1972	Juin 1971	Juillet 1971	7 mois 1971	Variation 7 mois 1972 / 7 mois 1971
Pays CECA	Fontes	37	33	224	8	38	77	+ 190,9 %
	Aciers courants	564	516	3 662	427	557	2 989	+ 22,5 %
	Aciers spéciaux	29	29	193	22	20	168	+ 14,9 %
	Total	630	578	4 089	457	615	3 234	+ 26,4 %
Pays tiers	Fontes	2	1	22	2	2	18	+ 22,2 %
	Aciers courants	53	61	352	33	56	274	+ 28,5 %
	Aciers spéciaux	7	6	44	4	4	38	+ 15,8 %
	Total	62	68	418	39	62	330	+ 26,7 %
Tous pays	Fontes	39	34	256	10	40	95	+ 169,5 %
	Aciers courants	617	577	4 014	460	613	3 264	+ 23 %
	Aciers spéciaux	36	35	237	26	24	210	+ 8,9 %
	Total	692	646	4 507	496	677	3 569	+ 26,3 %

INFORMATIONS COMMERCIALES

Wendel-Sidelor.

Sous la dénomination le « Fer-Blanc S.A. », vient d'être créée une société dont l'objet est la réalisation de toutes les opérations commerciales concernant le fer-blanc et le fer-noir en France et à l'étranger.

Le capital initial a été fixé à 100 000 F. MM. Jean Blin, Philippe Périnet, Jean Mesqui et la société Wendel-Sidelor, représentée par M. Maurice Besson, ont été cooptés en qualité d'administrateurs.

La création de cette société était prévue dans le plan de réorganisation des réseaux commerciaux du Groupe Wendel-Sidelor.

Creusot-Loire.

Ouverture, à Torcy, du plus important dépôt d'aciers spéciaux d'Europe Occidentale.

« Creusot-Loire-Métal-Service », société de vente des aciers fins de Creusot-Loire, vient d'ouvrir, à Torcy, sur la zone industrielle de la communauté urbaine de Creusot-Montceau-les-Mines (Saône-et-Loire), le plus important dépôt d'acier fins d'Europe Occidentale.

Ce dépôt couvert comportant cinq travées de 18 m de large sur 185 m de long, est desservi par neuf ponts roulants de 5 t et un pont roulant de 10 t. Ultérieurement, sept travées identiques aux premières seront construites.

Creusot-Loire disposera à cet endroit d'un stock permanent de 15 à 18 000 t d'aciers fins, dans toutes les nuances, sections et formats possibles ; en tout 5 000 échantillons divers.

Un « mouvement » de 10 000 t par mois est prévu.

Création d'une filiale en Grande-Bretagne.

Dans le cadre de sa politique d'implantation commerciale sur les marchés mondiaux, et notamment ceux de la Communauté élargie, Creusot-Loire vient de créer, en Grande-Bretagne, une filiale de vente pour les aciers spéciaux commercialisés par sa Division des Opérations de Marché : Creusot-Loire Steel Company Limited.

Le présidence de cette société est confiée à M. Georges Gay, directeur commercial de la Division des Opérations de Marché.

Son siège est situé, 27, Broadwick Street, Londres, W1.

S STRUCTURES ET LES INVESTISSEMENTS

L'EVOLUTION DES STRUCTURES

Société Métallurgique de Normandie.

Regroupement des activités minières.

La Société Métallurgique de Normandie a regroupé ses activités minières au sein de la société des Mines de Soumont. Ainsi, seront absorbées les filiales minières de Garcelles, Cinglais, Gouvix, Société Minière et Métallurgique du Calvados et Urville.

La transformation du code minier, qui autorise désormais le regroupement dans une même société de concessions minières de natures différentes, a permis cette opération. Celle-ci permettra également une simplification et une rationalisation des structures du groupe.

L'augmentation de capital des Mines de Soumont, consécutive à ces absorptions, est modérée car la société a racheté la presque totalité du capital des sociétés absorbées, au cours des derniers exercices.

La mine de Soumont assure l'essentiel de l'approvisionnement en minerai de la Société Métallurgique de Normandie avec 1,4 million de tonnes extrait en 1971. La Suède et la mine voisine d'Halouze fournissent le complément.

Construction d'une mini-aciérie.

La Société Métallurgique de Normandie et le Groupe allemand Korf vont construire conjointement et sur une base paritaire une « mini-aciérie » à Montereau.

Cette aciérie produira du rond à béton. Sa capacité annuelle atteindra 150 000 tonnes.

Usinor.

En vue de satisfaire au développement du marché des aciers pour béton en France et de bénéficier des facilités d'approvisionnement en ferrailles de la région parisienne, Usinor et Otto Lazar SA ont décidé de réaliser en commun à Porcheville (Yvelines) une usine sidérurgique dont la société Otto Lazar SA avait étudié l'implantation depuis deux ans.

A cet effet, Usinor et Otto Lazar SA se proposent de créer une société nouvelle dénommée « Aciéries et Laminoirs de Paris » (ALPA), dont elles détiendront respectivement 65 % et 35 % du capital.

FINANCEMENT DES INVESTISSEMENTS

Lancement d'un nouvel emprunt GIS.

Un nouvel « emprunt Acier » a été émis le 28 août par le Groupement de l'Industrie Sidérurgique.

D'un montant de 450 000 000 de F, cet emprunt est réparti en 450 000 obligations de 1 000 F nominal créées jouissance à partir du 22 décembre 1972, et d'un intérêt de 8,25 %, soit 82,50 F par obligation.

Il a pour objet de contribuer au financement des investissemenst engagés par les sociétés sdérurgiques au titre du VIe Plan et à l'achèvement de certains programmes réalisés dans le cadre du Ve Plan. Le nouvel « emprunt acier » a bénéficié, comme ceux qui l'ont précédé, d'un vif succès auprès du public ; il a été couvert le jour même de son émission.

Aciéries de Paris et d'Outreau.

L'assemblée extraordinaire du 30 juin 1972 a autorisé le Conseil à augmenter le capital pour le porter jusqu'à un montant maximum de 90 millions de francs.

Forges de Gueugnon.

Le Conseil a sollicité d'une assemblée extraordinaire convoquée le 22 septembre l'autorisation de procéder éventuellement à l'émission d'un emprunt obligataire d'un montant nominal maximum de 100 millions de francs d'obligations convertibles en actions.

Usinor.

Le Conseil a sollicité d'une assemblée générale extraordinaire convoquée le 11 septembre l'autorisation d'émettre un empurnt à concurrence d'un montant maximum de 600 millions de francs d'obligations convertibles en actions.

TRAVAUX NEUFS ET MODERNISATION

Forges de Gueugnon.

La capacité totale de laminage à froid des produits plats inoxydables atteindra 300 000 t par an en 1974.

A cet effet, d'imoprtants investissements — ils se sont montés à 67 millions en 1971 — sont entrepris par la société pour développer son principal secteur d'activité.

Un laminoir à froid Sendzimir, le cinquième, a ainsi été récemment mis en marche. Au cours du prochain exercice, une troisième ligne de recuit brillant sera achevée. La capacité totale de l'usine se trouvera alors portée à 200 000 t de laminés à froid inoxydables. De plus, en 1974, sera achevée la première tranche de l'usine que les Forges de Gueugnon, sont en train de construire à Chazé, à proximité de Gueugnon, sur un terrain de 110 hectares acquis dans le courant du dernier exercice. Une nouvelle extension est prévue, par la suite, devant porter la capacité de la nouvelle installation à 200 000 t par an.

Ces différents investissements ont été rendus nécessaires par la part que la société détient dans SOLLAC et par celle qu'elle détiendra dans l'usine de Fos-sur-Mer que SOLMER est en train d'édifier.

Les nouvelles installations entrent en service alors qu'une sensible amélioration est enregistrée sur le marché sidérurgique. Ce redressement s'est fait sentir sur le carnet de commandes de la société dès le début du deuxième trimestre 1971. Le mouvement s'est poursuivi au cours des premiers mois du présent exercice.

LES TECHNIQUES

INGENIERIE ET MATERIEL SIDERURGIQUE

Matériel sidérurgique français en U.R.S.S.

Des ingénieurs français ont visité, en juillet 1972, les usines de Karaganda, au Karakstan et de Novo Kouznotsk, en Sibérie occidentale. L'usine de Karaganda comporte une aciérie LD, mise en service le 1er janvier 1971, qui dispose actuellement de deux cornues de 250 t. Sa production est de 240 000 t par mois. Un troisième convertisseur va être prochainement mise en service. Cette aciérie utilise le procédé de captage des gaz sans combustion (brevet IRSID et Creusot-Loire) dont l'U.R.S.S. a acquis la licence.

Les aciéristes soviétiques ont déclaré que le procédé leur donnait entière satisfaction. Les visiteurs français ont pu constater que les gaz brûlaient à la torchère, sans donner aucune fumée visible. La jupe et la hotte n'ont pas eu besoin d'être changées depuis leur mise en service, il y a dix-huit mois. L'usine de Novo Kouznotsk dispose actuellement d'une aciérie LD, de trois cornues de 130 t où la captation des gaz ne se fait qu'après combustion.

Il est projeté de remplacer ces cornues par des appareils de plus grande dimension et d'y utiliser le procédé IRSID Creusot-Loire de captage sans combustion, procédé qui a fait ses preuves à Karaganda.

COOPERATION TECHNIQUE

Un consortium international de fabricants d'emballages signe un accord technique avec la Pologne.

Un consortium international de sociétés occidentales spécialisées dans la fabrication d'emballages vient de signer un accord technique avec les représentants de l'industrie polonaise de fabrication de boites de conserve. Ce consortium international est constitué par les sociétés J.J. Carnaud et Forges de Basse-Indre (France), Metal Box Co Ltd (Grande-Bretagne) et Continental Can (Etats-Unis) sous la dénomination de Comeca Packaging Techniques S.A. Ce groupement a pour objet la conclusion de contrats avec les pays socialistes.

Après l'aboutissement des négociations, qui ont été menées par l'intermédiaire de Polservice, l'organisation polonaise spécialisée, les sociétés occidentales s'attendent à d'autres contrats tant avec la Pologne qu'avec d'autres Etats d'Europe orientale.

Celui qui vient d'être signé s'est traduit dès à présent par une première commande de 500 000 livres auprès de « Metal Box » pour des équipements de fabrication de boites de conserve.

Fives-Lille-Cail va construire une installation de coulée continue en Belgique.

Fives-Lille-Cail (groupe Babcock Fives) va construire une installation de coulée continue de brames d'acier pour les Forges de Clabecq.

Cette installation — la première réalisée au Benelux — permettra de couler des brames d'une épaisseur de 150 à 300 mm, d'une largeur de 1 à 2,1 m et d'une longueur de 4 à 11 m, qui seront destinées aux laminoirs à tôles fortes et à bandes.

La conception de la machine permettra des coulées séquentielles avec changement de poches et changement de répartiteurs. Fives-Lille-Cail réalisera cette installation selon ses techniques propres et en assurera le montage, les essais et la mise en route.

UTILISATIONS DES PRODUITS SIDERURGIQUES

L'acier dans la construction.

— *Des câbles d'acier français ont été utilisés à Munich* pour réaliser la couverture par voiles prétendues d'une partie (75 000 m²) des installations olympiques : 436 km et 2 286 t pour les câbles principaux et 410 km de câbles plus fins pour former les mailles de la voilure nouées de 127 000 nœuds).

— *L'aciérie numéro 2 d'Usinor-Dunkerque* doit commencer ses essais en septembre. Le bâtiment, qui s'étend sur 50 000 m², a environ 300 m de longueur et sa hauteur atteint 66 m par endroits. Sa construction a nécessité l'emploi de 43 000 t de charpentes métalliques.

— *Un immeuble d'habitation de 17 étages et 52 m de hauteur* vient d'être construit à la Baule, à 50 m de la plage. Il s'agit d'un bâtiment à noyau central en béton et ossature périphérique métallique, pour laquelle 312 t d'acier ont été utilisées. Le montage de l'ossature a duré 3 mois.

— *3 000 t d'acier seront utilisées* pour couvrir les voies de la gare de Cannes, sur 490 m de longueur environ et une largeur variant de 19 à 31 m. L'ensemble comprend 2 tabliers à poutrelles enrobées et 14 tabliers à ossature mixte acier-béton.

Elévateur de bateaux.

Le plus puissant élévateur du monde pour bateaux de pêche vient d'être mis en service à Etaples (Pas-de-Calais). Cet engin est constitué par deux portiques reliés par des longerons et montés sur 4 roues. D'une hauteur de 15 m et d'un poids de 70 t, il est capable de soulever un bateau de 100 t.

Viaduc métallique.

Formé de 3 éléments de 18,80 m et comportant deux voies de roulement de 3,50 m de largeur chacune, un viaduc métallique vient d'être construit à Mas-Sabole (Pyrénées-Orientales). L'ouvrage, dont la travée centrale est de 25,20 m, repose sur deux coulées d'extrémité et deux palées métalliques intermédiaires.

Colonne d'acier pour la fabrication d'acide.

Une colonne d'absorption, en acier inoxydable, pour la fabrication d'acide nitrique, a été construite en France pour une société espagnole. Cette colonne de 30 m de hauteur et 3,5 m de diamètre pèse 100 t.

Voyage inaugural du premier méthanier à cuves d'acier.

Le « Descartes », le premier d'une série de cinq méthaniers à cuves membranes en acier inoxydable au nickel, vient d'effecteur son voyage inaugural d'Algérie à Boston (U.S.A.). La structure composant les parois des cuves est constituée par une membrane en tôles gaufrées de 1,2 mm d'épaisseur en acier Z 2 CN 18-10.

L'acier dans la lutte anti-pollution.

Pour lutter contre la pollution par le pétrole et les hydrocarbures, une société française utilise un barrage flottant en acier inoxydable au chrome-nickel-molybdène du type Z 3 CND 18-12 qui peut être remorqué et mis en place rapidement autour de la nappe. Ces barrages sont livrés en éléments de 50 m. Il a fallu 12 mn à la Marine Nationale, à Toulon, pour encercler une nappe avec un barrage de 250 m.

INFORMATIONS DIVERSES

Saint-Gobain-Pont-à-Mousson.

— *La nouvelle organisation du groupe.*

En application des décisions annoncées à l'assemblée générale du 4 mai, diverses mesures prennent effet à dater du 1er juillet 1972 :

Le Département Construction est la nouvelle dénomination du Département Habitat.

Il recouvre les activités du groupe dans la production et la transformation des matériaux de construction et a pour société pilote « Saint-Gobain Industries », nouvelle dénomination de Saint-Gobain.

Le Département emballage a désormais pour société pilote un holding constitué le 26 juin : la Société Générale pour l'Emballage.

Le Département canalisation et mécanisme est la nouvelle dénomination du département fonderies et mécanique. Sa société pilote, Pont-à-Mousson SA a absorbé comme prévu le 30 juin deux de ses filiales : les Compagnies Générales de Robinetterie et la Société des Fonderies de Bayard.

Le Département entreprises et services, dont la société pilote est Socea n'est pas modifié.

Les Départements verre et sidérurgie sont supprimés.

La Société Anonyme de Participation et d'Etudes SAPE a absorbé le 30 juin deux autres sociétés financières du groupe : la Société Anonyme de Participations pour la Métallurgie et la Construction (Spamco) et la Compagnie Financière de Bayard (Cofiba).

— *Situation de Pont-à-Mousson S.A. après le bilan de 1971.*

1 200 millions de francs de chiffre d'affaires, 12 300 personnes, 16 usines et 35 agences commerciales, tels sont les chiffres qui caractérisent, pour la société, la situation au 31 décembre 1971.

Evoquant récemment, devant son personnel, l'activité de l'année dernière et celle du premier semestre de l'année en cours, M. Hubert Cousin, président de la société, a indiqué que le plan de développement pour les cinq prochaines années prévoyait un doublement du chiffre d'affaires en francs courants.

Plus de 100 millions de francs ont été dépensés en 1971 au titre des investissements industriels directs et des prises de participation. Deux cents millions sont prévus pour l'année en cours, dont 125 millions en investissements industriels directs.

Pour la période 71-75, le programme d'équipement porte sur les quatre branches d'activité de la société : mécanique, robinetterie, compteurs et canalisations.

En ce qui concerne ce dernier département, sont ainsi prévus l'installation d'une chaine de production pour les tuyaux en fonte de gros diamètre, le développement de la production de tuyaux et raccords en plastique et l'installation d'une seconde chaine de moulage spécialisée dans les pièces de voirie en fonte ductile. Ces investissements sont destinés à faire face à l'évolution du marché des canalisations, qui accorde une part croissante au plastique et qui, du fait du développement de l'urbanisation, se caractérise par une demande plus importante de raccords, vannes et tuyaux de gros diamètres.

A côté de ces investissements, le développpement des activités de la société exigera des frais de recherches et des prises de position commerciales.

— *Accord technique entre Pont-à-Mousson S.A. et une société américaine.*

Un accord d'assistance technique vient d'être conclu entre la société américaine Rainville et Pont-à-Mousson S.A., lui accordant la licence exclusive pour l'Europe des machines d'injection soufflage Rainville pour la fabrication d'emballages plastiques. Ces machines compléteront l'activité de Sidel, filiale de Pont-à-Mousson.

Contrat entre Creusot-Loire et la centrale soviétique Machinoimport.

Un contrat de plus de 100 millions de francs a été signé entre la Centrale soviétique Machinoimport et Creusot-Loire pour la fourniture de 100 compresseurs montés sur remorques climatisées, en vue d'éprouver les tronçons de gazoducs de Sibérie.

Les compresseurs Creusot-Loire/Cooper Bessemer sont entrainés par des moteurs (Diesel ou gaz) Creusot-Loire/Saurer, construits au Creusot. Les remorques, conçues et assemblées par la société Aman, sont équipées de trains routiers tous terrains Delattre-Levivier, filiale de Creusot-Loire.

Vallourec.

La société Vallourec par l'intermédiaire de son organisme à l'exportation, le Comptoir Franco-Belge d'Exportation des Tubes d'Acier (Comptoir F.B.T.) a signé, à Moscou, le 28 juillet 1972 avec la Centrale d'Achats Soviétique, Promsyrio-import, un contrat de fournitures de 100 000 t de tubes sans soudure dont une partie en tubes forage, pour une valeur de 130 millions de francs.

Ce contrat est le plus important conclu à ce jour par le groupe Vallourec auprès de la Centrale Soviétique dont il est le fournisseur.

D'autre part, la société vient de créer également une « société-tiroir », au capital de 100 000 F, la Société pour l'Etirage des Tubes. Les dirigeants du groupe pourraient utiliser cette société pour la réalisation des opérations de fusion de Vallourec et de la Compagnie Industrielle et Commerciale des Tubes. Vallourec a en effet l'intention d'apporter l'ensemble de l'activité industrielle de C.I.C.T. à une société nouvelle qui reprendra le nom de C.I.C.T. et sera ainsi une filiale à 100 % de Vallourec.

Commande polonaise pour Creusot-Loire.

La centrale d'achat polonaise Polimex a confié à Creusot-Loire, pour le compte de l'Union d'extraction pétrolière, une commande de moto-compresseurs Creusot-Loire/Cooper Bessemer pour cinq stations de compression au gaz naturel.

Augmentation du capital d'Oxyfos S.A.

Chargée de financer les investissements de l'Air Liquide à Fos-sur-Mer, la société Oxyfos S.A. a porté son capital à 10 millions de francs. Ces investissements correspondent notamment à un oxyton d'une capacité de 1 000 t de production d'oxygène par jour en association avec la regazéification du gaz naturel liquéfié de Gaz de France et à deux canalisations pour l'approvisionnement de la zone industrielle de Fos-sur-Mer en oxygène et azote.

Scission-fusion des Ets Brissonneau et Lotz Sté des usines Chausson - Sté Alsthom.

La scission-fusion des Etablissements Brissonneau et Lotz avec la Société des Usines Chausson d'une part et de la Société Alsthom d'autre part, approuvée par les assemblées extraordinaires des actionnaires des trois sociétés, est devenue définitive le 12 juillet 1972.

Cette scission-fusion qui comporte notamment l'apport du département automobile de Creil à Chausson, et celui du département ferroviaire d'Aytre-La Rochelle à Alsthom, constitue une importante opération de restructuration dans les deux secteurs industriels concernés.

Prise de contrôle de la société Airbox Ferembal.

La société Ferembal a récemment pris le contrôle de la société Airbox. Les activités de ces deux sociétés sont les suivantes :

— au cours de son dernier exercice, Ferembal a transformé 96 700 t de fer-blanc et de fer noir. Le chiffre d'affaires a atteint 258 millions, en progression de 15 % sur celui de 1969-1970.

— Airbox est le seul fabricant français de bombes aérosols deux pièces, réalisées en fer-blanc par emboutissage filage. Son chiffre d'affaires annuel est voisin de 10 millions de francs, et le tonnage de fer-blanc transformé dans son usine de la Roche-sur-Yon atteint 2 000 t.

La sidérurgie grecque

En l'absence de renseignements statistiques précis, la production de la sidérurgie grecque est mal connue. L'Office de Statistiques de la R.F.A. évalue la production d'acier brut à 450 000 t (dont près de 300 000 t d'acier LD) pour chacune des années 1969 et 1970, puis à 500 000 t pour l'année 1971.

La sidérurgie grecque a connu un certain développement ces dernières années, d'abord par la mise en service d'un train à froid à larges bandes à Salonique à la fin de 1967, puis par la mise en service d'un train à chaud à Eleusis (dans le courant de 1969).

Les principales usines de la sidérurgie grecque sont actuellement :

— l'usine intégrée d'Eleusis (Halyvourgiki), productrice d'acier LD et disposant d'un train à chaud à larges bandes,

— le train à froid de Salonique (Hellenic Steel),

— l'usine semi-intégrée de Salonique (Aciéries du Nord de la Grèce), productrice d'acier électrique,

— quelques petites usines de relaminage ou productrices de tubes.

Il faut noter que deux petites entreprises ont des projets d'intégration vers l'amont par la construction d'aciéries électriques suivies de coulées continues, à savoir Athinon S.A. (producteur de tubes) et Mambo S.A. (ronds à béton).

Par ailleurs, la Commission des Investissements Etrangers du Ministère grec de l'Economie a récemment autorisé le recours à des capitaux étrangers ($ 27,58 millions) pour la construction, en Attique, d'une installation de production d'éponges de fer (250 000 t/an).

Halyvourgiki.

La société Halyvourgiki exploite à Eleusis une usine intégrée dont les possibilités de production étaient jusqu'à présent évaluées à 450 000 t/an environ. Cependant la société, souhaitant augmenter sa production, s'efforce actuellement de supprimer certains goulots techniques d'étranglement. Ses installations doivent être actuellement les suivantes :

— 1 cokerie, d'une capacité de 500 000 t/an, a été achevée au début de 1972 ;

— l'usine dispose, depuis 1963, de 2 hauts fourneaux d'un diamètre de creuset de 7 m, équipés pour l'injection de fuel-oil ; l'un de ces hauts fourneaux n'a pratiquement jamais fonctionné jusqu'à présent mais la société se proposait récemment de le remettre à feu dans le courant de juin 1972 ;

— l'aciérie LD, ayant commencé à produire en 1963, ne fonctionnait au départ qu'avec 2 creusets de 40-45 t ; cependant, selon la dernière étude annuelle de Kaiser Engineers sur les aciéries LD dans le monde (1971), l'usine disposerait maintenant, avec 4 creusets de 45 t, d'une capacité de l'ordre de 900 000 t/an (sous réserve qu'il n'y ait pas de goulot d'étranglement ni en amont ni en aval) ;

— 2 installations de coulée continue pour billettes à 3 lignes chacune, construites par Danieli, ont été mises en service en 1966 ;

— 1 installation de coulée continue pour brames de 170 × 800 mm à 225 × 1 600 mm, fonctionnant en continu (3 à 6 coulées successives), construite par la VOEST, a été mise en service en janvier 1972, il serait maintenant prévu de construire une seconde installation de coulée continue pour brames ;

— le train à chaud à larges bandes dispose d'une capacité évaluée à 600 000 t/an ; il permet également la production de tôles fortes ; en fait cependant, ce train permettrait de couvrir les besoins locaux en tôles moyennes (jusqu'à 4,5 mm) mais il ne produirait encore que des tonnages limités de tôles fortes de 5 à 10 mm, et ceci dans une largeur maximale de 1,5 m seulement ;

— l'usine dispose enfin de trains à laminés marchands, ronds à béton et fil machine et d'ateliers pour la production de treillis métalliques et de clous.

Hellenic Steel (Groupe Pappas).

La Hellenic Steel exploite à Salonique un train quarto à froid réversible de 54", mis en service à la fin de 1967, et des lignes d'étamage électrolytique et de galvanisation mises en service dans le courant de 1968. Le train à froid est alimenté en coils à chaud par des importations provenant principalement du Japon.

La capacité du train à froid doit être maintenant de l'ordre de 350 000 t/an. Hellenic Steel déclare que, de la mi-1968 au début de mars 1972, l'usine de Salonique a produit environ 1 million de tonnes de tôles à froid, tôles galvanisées et fer-blanc dont quelque 450 000 t auraient été exportées (ou laminées à façon pour le compte d'usines étrangères).

Aciéries de la Grèce du Nord S.A. (Halyvourgia Voriou Ellados, précédemment Viohalco Sanitas).

Cette société, dans laquelle le groupe belge Cofinindus détient une participation, exploite une usine semi-intégrée à Salonique et une usine à tubes à Athènes.

L'usine semi-intégrée de Salonique a été sensiblement développée au cours des 2 dernières années ; elle se compose en fait de 2 mini-usines car elle comprend :

— 2 fours électriques de 16 t, suivi d'une coulée continue Concast à 2 lignes pour billettes et d'un train à barres (cet ensemble a été installé entre 1962 et 1965) ;

— 2 fours électriques de 45 t, suivis d'une coulée continue DST à 3 lignes pour billettes et d'un train continu Schloemann pour feuillards et fil machine (cet ensemble a été mis en service seulement dans le courant de 1971 ; il a été réalisé avec le concours technique de Thy-Marcinelle et Monceau qui détient une participation de 9,95 % dans la société) ;

— 1 train à tubes soudés d'un diamètre de 1/2" à 5".

L'usine d'Athènes comprend des installations pour la production de tubes soudés d'un diamètre de 4" à 72" (y compris des tubes à soudure hélicoïdale) et 1 train réversible à froid, d'une capacité de 50 000 t/an, mis en service en 1969.

La production d'acier brut de la société a été d'environ 110 000 t en 1971 ; elle devrait augmenter progressivement pour atteindre 400 000 t/an.

Société Metallourgiki Athinon S.A.

Cette société productrice de tubes devait mettre en service au début de 1972, un train à froid d'une capacité de 70 000 t/an, devant être alimenté au début en bobines à chaud importées. Cependant, la société voudrait maintenant se donner une base d'approvisionnement en acier et elle a constitué à cet effet une nouvelle société, la Metallourgiki Halyps. Les investissements prévus porteraient sur les installations suivantes :

— 2 fours électriques à arc ;

— 1 installation de coulée continue à 3 lignes ;

— 1 train à chaud, d'une capacité de 150 000 t/an et d'un coût de $ 12 millions (pour lequel la société a obtenu un prêt à long terme de $ 8,4 millions de la Banque grecque de Développement Industriel).

Les informations dont on dispose ne précisent pas quelle serait la largeur des produits plats obtenus et s'il s'agit en fait de bandes ou de feuillards. Le groupe envisagerait également d'entreprendre la production de cornières, fil machine et ronds à béton.

Société Mambo S.A.

Il s'agit d'une nouvelle société qui, par décision du gouvernement, a pris à bail pour 5 ans les installations de production de ronds à béton (25 000 t/an) de la Halyvourgia Volou S.A. (cette dernière avait cessé la production, il y a quelques années, à la suite d'un différend concernant les droits de douane sur les billettes importées). La Mambo S.A. se serait engagée à installer une aciérie électrique et une coulée continue dans un délai de 18 mois.

Selon le répertoire « Products of Greece 1971 », la sidérurgie grecque compte encore les producteurs suivants :

— Helliniki Halyvourghia : usine située à Aspropyrgos (Attique) dont la capacité de production d'acier brut serait de 120 000 t/an.

— Sheet Steel Co : usine pour la production de tôles à chaud au Pirée.

— Steel Company of Volos : usine de ronds à béton à Volos.

— D. and A. Stavrianos : usine au Pirée pour la production de ronds à béton, tréfilés, etc.

Enfin, la Larco, société minière et métallurgique de Larymna qui a été constituée pour l'exploitation des gisements de fer-nickel de Larymna, dispose de 2 fours électriques pour la production de fonte, de fours pour la production de ferro-nickel et de nickel électrolytique, de 2 creusets LD de 15 t, de 2 installations de coulée continue pour billettes (capacité : 15 000 t/an).

Commerce extérieur.

Selon le « Bulletin trimestriel de statistiques de l'acier pour l'Europe » (Nations Unies), l'évolution du commerce extérieur grec a été la suivante depuis 1969 :

Importations grecques

(en 1 000 t)	1969	1970	8 premiers mois 1971
Minerai de fer et concentrés	471	552	239
Fonte	45	24	12
Lingots et demi-produits	160	135	127
dont coils de relaminage	(105)	(40)	(99)
Profilés lourds	74	67	35
Profilés légers	79	101	68
Tôles fortes	44	50	22
Tôles moyennes	41	13	4
Tôles minces	17	24	24
Feuillards	64	24	13
Fer-blanc	36	44	23
Matériel de voie	1	2	4
Fil machine	48	44	13
Fils tréfilés	9	12	9
Tubes et raccords	17	18	14
Moulages, pièces de forge	2	—	—
Total acier	592	534	350

Exportations grecques

(en 1 000 t)	1969	1970	8 premiers mois 1971
Lingots et demi-produits	59	18	2
dont coils de relaminage	(26)	(3)	—
Profilés légers	0	26	8
Tôles fortes	2	0	—
Tôles moyennes	120	21	2
Tôles minces	2	111	56
Tubes et raccords	2	1	2
Total acier	185	177	70

Par contre, les statistiques de l'IISI (livraisons des principaux pays membres de cet organisme à destination de la Grèce) donnent des chiffres nettement supérieurs à ceux des importations grecques telles qu'elles sont recensées par les Nations Unies, à savoir :

Livraisons des principaux pays membres de l'IISI à destination de la Grèce

(en 1 000 t)	1969		1970		1er semestre 1971	
	Produits laminés	Tous produits (*)	Produits laminés	Tous produits	Produits laminés	Tous produits
Belgique - Luxembourg	104,7	110,1	83,9	86,8	38,7	40,4
France	70,4	73,3	92,8	96,6	32,3	33,9
Allemagne Occidentale	76,6	92,5	64,1	85,1	45,0	60,5
Italie	23,6	26,2	32,5	36,1	15,3	16,5
Pays-Bas	10,7	11,5	8,9	10,3	4,0	4,1
Total CECA	286,1	313,5	282,3	315,0	135,4	155,4
Autriche	10,9	13,2	9,3	12,4	7,6	9,9
Canada	—	—	42,6	42,6	—	—
Japon	153,9	154,0	247,7	249,9	146,7	149,4
Afrique du Sud	26,0	26,0	11,0	11,1	—	0,3
Grande-Bretagne	36,3	38,9	38,5	43,6	22,7	24,8
Etats-Unis	149,0	150,1	163,5	165,2	0,4	1,2
Total (**)	663,1	696,9	795,5	840,5	313,2	341,8

(*) Y compris tubes, tréfilés, feuillards à froid, barres à froid, moulages, etc.

(**) Y compris de faibles tonnages livrés par l'Australie et la Suède.

La Maximilianshütte en 1971

La Maximilianshütte (groupe Flick) exploite 2 usines en Bavière (Rosenberg et Haidhof) et une ligne de galvanisation implantée à Salzgitter.

L'usine de Rosenberg comprend 6 hauts fourneaux, 6 convertisseurs OBM (soufflage d'oxygène par le fond), 1 four électrique à arc, 2 installations de coulée continue pour billettes totalisant 5 lignes), 1 blooming, des trains à gros profilés et des installations de production des tubes (y compris tubes galvanisés).

L'usine de Haidhof a cessé la production d'acier brut au printemps 1971 et elle ne comprend plus que des trains à fers moyens et petits fers, une cage quarto réversible à froid pour larges bandes et des ateliers de fonderie.

La ligne de galvanisation implantée à Salzgitter a été mise en service seulement en septembre 1970, avec une capacité de l'ordre de 18 000 t/mois.

La Maximilianshütte n'avait pas adhéré aux anciens comptoirs de vente de la sidérurgie allemande mais, depuis le 1er juillet 1971, elle fait partie du Groupe de Rationalisation Nord-Sud dont les 2 autres membres sont la Klöckner Werke et la Stahlwerke Peine-Salzgitter AG.

Le train à froid de Haidhof reçoit des coils à chaud de Salzgitter et de Brême (les livraisons en provenance de Brême seront augmentées après la mise en service du second train à chaud de cette usine, prévue pour le second semestre 1972). Par allleurs, Maximilianshütte et Klöckner se proposent d'exploiter en commun le nouveau haut fourneau prévu pour l'usine de Brême. Enfin, les accords de spécialisation au sein du groupe de rationalisation Nord-Sud prévoient que, des 3 partenaires, la Maximilianshütte sera le seul à produire des tôles magnétiques.

La société déclare qu'en 1971 son marché naturel, à savoir le sud de l'Allemagne, a subi une forte pression des importations en provenance d'Italie, des autres pays CECA et des pays de l'Europe de l'Est. Du fait de la dégradation des prix et de la très forte augmentation des coûts de production, l'exercice 1971 s'est terminé sans perte ni profit.

L'exercice 1971 a été marqué, pour la société, par l'achèvement d'un programme de rationalisation comportant la concentration de la production d'acier brut à l'usine de Rosenberg et la modernisation des installations de production des produits longs à l'usine de Haidhof.

Production.

Le rapport de la Maximilianshütte pour 1971 indique que la production a évolué comme suit au cours des 4 dernières années :

(en 1 000 t)	1968	1969	1970	1971
Minerai de fer	886	858	838	770
Fonte	649	654	733	696
Acier brut	933	945	971	859
Produits laminés	1 059	1 069	1 132	1 182
Produits de fonderie	29	29	30	25

En 1971, la production a diminué de 5,1 % pour la fonte et de 11,6 % pour l'acier brut La production d'acier brut s'est répartie comme suit :

Rosenberg	831 000 t
dont : OBM	758 600 t
Electrique	72 500 t
Haidhof	28 000 t (*)

(*) La production d'acier brut a cessé à Haidhof au printemps 1971 ; elle est maintenant assurée exclusivement par l'usine de Rosenberg.

La production de billettes de coulée continue s'est élevée à 154 900 t en 1971, en augmentation de 57 % sur l'année précédente.

Quant à la production de laminés, elle a augmenté à nouveau de 4,5 % en 1971, pour s'établir à 1 182 000 t, ce qui s'explique surtout par le fait que 1971 a été la première année complète de fonctionnement de la nouvelle ligne de galvanisation de Salzgitter. Il s'y ajoute que la production de produits longs de Haidhof a pu être augmentée de 29 % du fait du remplacement d'un train ancien par un nouveau train continu à petit fers produisant surtout des ronds à béton. L'usine de Haidhof dispose désormais de 2 trains continus à petits fers, le premier ayant été mis en service en avril 1970.

Les produits plats sont intervenus pour 42,4 % dans la production totale de laminés.

Chiffre d'affaires et livraisons.

Les expéditions de produits laminés ont atteint 1 197 100 t en 1971, en augmentation de 5,3 % sur 1970. Elles se sont réparties comme suit :

Demis-produits et produits longs	50,5 %
Tôles galvanisées	10,6 %
Autres produits plats	32,2 %
Tubes	6,7 %

Le chiffre d'affaires (non compris les filiales) a été de 692 millions de DM, en diminution de 10 millions de DM (1,4 %) sur l'année précédente.

Evolution du chiffre d'affaires de la Maximilianshütte par produits

(en millions de DM)	1968	1969	1970	1971
Produits lourds	121	134	154	144
Laminés marchands	82	82	119	141
Tubes	62	76	86	79
Tôles	270	309	314	302
Autres produits	24	24	29	26
Total	559	625	702	692

Investissements.

Du fait de l'achèvement du programme de rationalisation, les investissements sont retombés de 53,1 millions de DM en 1970 à 37,6 millions de DM en 1971.

Outre la mise en service du second train continu à petits fers de l'usine de Haidhof, il faut signaler que des aménagements ont été apportés à l'aciérie OBM de Rosenberg en vue de l'injection de poudre de chaux par le fond des convertisseurs.

ısion des groupes norvégiens Elkem et Christiania Spigerverk

Les groupes industriels Elkem et Christiania Spigerverk viennent de fusionner, constituant la « Elkem-Spigerverk », au capital de 195 millions de couronnes norvégiennes.

Le groupe Elkem, surtout axé sur la production d'aluminium, de ferro-alliages et sur la construction de fours électriques, a réalisé en 1971 un chiffre d'affaires de 640 millions de couronnes norvégiennes, exportant près de 80 % de sa production. Il dispose de deux usines d'aluminium primaire en Norvège, dans lesquelles le groupe américain Alcoa détient une participation de 50 %, tandis que le groupe Elkem détient lui-même des participations de 25 % dans les établissements britanniques et néerlandais de l'Alcoa pour la transformation de l'aluminium. Le groupe Elkem détient également des intérêts dans les mines.

La Christiania Spigerverk, dont l'activité s'exerce dans le secteur de la sidérurgie, des feuillards d'emballage, des matières plastiques et des fibres de verre, des mines de fer, des concentrés de zinc et des métaux précieux, a réalisé en 1971 un chiffre d'affaires de 669 millions de couronnes norvégiennes (624 millions après déduction des transactions internes, dont 152 millions à l'exportation). Elle a établi des plans pour la construction d'une « mini-usine » d'une capacité de 150 000 t d'aciers à béton, en Grande-Bretage.

La nouvelle société aura des effectifs de l'ordre de 8 400 personnes.

Projets de grandes usines dans la sidérurgie soviétique

Le plan quinquennal en cours prévoit que la production soviétique d'acier brut passe de 120,5 millions de t en 1971 à 146 ou 150 millions de t en 1975, soit une augmentation de près de 30 millions de t. Le plan pour les années 1976 à 1980 n'est pas encore officiellement établi, mais des informations datant de 1968 faisaient état d'un objectif de l'ordre de 200 millions de t pour 1980.

L'accroissement de la production doit être obtenu tout d'abord par l'expansion des usines existantes, notamment par la construction de très grands hauts fourneaux (jusqu'à 5 000 m³) et d'aciéries à l'oxygène pur, dotées de creusets de 300 à 350 t et d'une capacité pouvant aller jusqu'à 8 millions de t/an.

D'autre part, la construction d'une ou deux usines entièrement nouvelles de grande capacité n'est pas exclue car des informations récentes font état de deux projets, l'un en Sibérie Orientale (usine d'une capacité pouvant aller jusqu'à 20 millions de tonnes, alimentée en minerai par les gisements découverts dans le bassin de la rivière Angara ou du lac Baïkal), l'autre dans l'anomalie magnétique de Kursk en Russie d'Europe (usine d'une capacité de 10 à 12 millions de t à la construction de laquelle pourraient participer les autres pays du Comecon).

Si tous les projets récemment annoncés sont effectivement réalisés, la sidérurgie soviétique pourrait disposer, vers la fin de la décennie, d'un certain nombre d'usines d'une capacité comprise entre 10 et 20 millions de tonnes.

Pour l'instant, les renseignements que l'on peut recueillir dans la presse sont assez peu précis quant à la capacité actuelle des principales usines soviétiques. La revue américaine *33 Magazine* de janvier 1970 avait donné les évaluations suivantes :

(en millions de t m)

Usines	Capacité de production
Magnitogorsk (Oural)	10 à 12
Krivoï Rog (Ukraine)	9,5
Kuznetsk (Sibérie Occidentale)	6
Novo-Tagil (Oural)	5,8
Cherepovets (Russie d'Europe)	5,5
Azovstal (Ukraine)	5
Ilyich (Ukraine)	5
Karaganda (Kazakhstan)	5
Zaporozhye (Ukraine)	5
Chelyabinsk (Oural)	4,5
Yenakiyevskiy (Ukraine)	4
Novo Lipetsk (Russie d'Europe)	4
Zapsib (Sibérie Occidentale)	4

En ce qui concerne les projets d'avenir, les informations publiées sont également imprécises car elles n'indiquent pas clairement si les nouvelles aciéries à l'oxygène représenteront des augmentations nettes de capacité ou si elles seront partiellement compensées par l'arrêt d'installations anciennes (par exemple, aciéries Martin) comme c'est souvent le cas dans les pays occidentaux.

L'usine de Magnitogorsk, dans l'Oural, a été l'une des premières usines du monde à atteindre une capacité de 10 millions de tonnes. Elle ne produit que de l'acier Martin (avec 35 fours, dont 2 d'une capacité de 900 t) et son programme de laminage s'étend aux produits plats et aux produits longs. Selon le *33 Magazine* de janvier 1970, les Russes auraient l'intention de porter sa capacité à 15 millions de tonnes en 1975 et 20 millions de tonnes en 1980. Jusqu'à présent toutefois, on ne dispose d'aucune précision sur la réalisation d'un tel projet et l'usine de Magnitogorsk ne figure pas parmi celles pour lesquelles la construction de grandes installations nouvelles a été récemment annoncée par les Soviétiques.

L'usine de Krivoï Rog, en Ukraine, produit actuellement de l'acier Martin et de l'acier à l'oxygène. Son programme de production porte principalement sur les barres, les profilés légers, les cornières, le fil machine et les bandes à tubes.

L'usine doit compter actuellement 8 hauts fourneaux (dont 3 de 2 000 m³ et 1 de 2 700 m³). Les travaux auraient maintenant commencé pour la construction du haut fourneau n° 9 dont le volume utile serait de 5 000 m³. Ce haut fourneau, devant être mis à feu en 1974, permettrait de produire de 4 à 5 millions de t de fonte par an. Il sera vraisemblablement suivi de nouveaux creusets à l'oxygène ainsi que d'un nouveau blooming, pouvant traiter plus de 3 millions de tonnes de lingots par an et devant être mis en service en 1973. L'usine de Krivoï Rog pourrait donc disposer d'une capacité de 13 à 14 millions de tonnes vers 1975, en admettant que des installations anciennes ne soient pas arrêtées.

L'usine de Novo-Tagil, à Nizhniy-Tagil, dans l'Oural, doit disposer de 6 hauts fourneaux dont 1 de 2 700 m³), de 18 fours Martin (3,5 millions de tonnes) et de 3 creusets à l'oxygène de 100 t (2,2 millions de tonnes). L'usine dispose d'une coulée continue et de trains à rails, profilés, laminés marchands et tôles fortes. Une nouvelle aciérie à l'oxygène pur, d'une capacité de 3 à 3,5 millions de tonnes, doit être construite au cours du plan 1971-75, ce qui donnerait alors à l'usine une capacité de l'ordre de 9 millions de tonnes (à moins que des installations plus anciennes ne soient arrêtées). Il est prévu aussi un train à grosses poutrelles universelles, d'une capacité de 1 à 1,5 million de tonnes.

L'usine de Cherepovets, en Russie d'Europe, dispose de 4 hauts fourneaux (dont 1 de 2 700 m³), d'une aciérie Martin, de 3 fours électriques de 100 t (mis en service de fin 1969 à octobre 1970), de 2 installations de coulée continue et de trains à produits longs et produits plats (notamment un train semi-continu à chaud et un train continu à froid de 1 700 mm).

Le programme d'expansion tendrait à doubler la capacité de l'usine. Selon les informations datant de 1969, il comporterait la construction du haut fourneau n° 5 (3 000 m³), d'une aciérie à l'oxygène et d'un train continu à chaud à larges bandes de 2 000 mm (ce dernier d'une capacité de 6 millions de t/an). Il semblerait donc que l'usine de Cherepovets doive atteindre une capacité d'au moins 10 millions de tonnes d'ici à quelques années.

L'usine Azovstal à Jdanov, sur la mer d'Azov (Ukraine) doit actuellement disposer de 6 hauts fourneaux, d'une aciérie Martin et de trains à rails, profilés et barres. Un train à tôles fortes de 3 600 mm doit être mis en service en 1972, avec une capacité de 1,75 million de t/an. On établit par ailleurs les plans d'une aciérie à l'oxygène (équipée de creusets de 350 t et d'une capacité de 5 millions de t/an) et d'une installation de coulée continue. Si l'aciérie Martin n'est pas partiellement arrêtée, l'usine Azovstal pourrait atteindre une capacité de quelque 10 millions de t/an.

L'usine de Karaganda, dans le Kazakhstan, doit actuellement disposer de 3 hauts fourneaux (dont 1 de 2 700 m³), de 2 fours Martin de 500 t, de 2 creusets à l'oxygène de 250 t, d'un slabbing et d'un train à chaud à larges bandes de 1 700 mm.

Un train à froid (1 700 mm) est en construction de même qu'un 3e creuset à l'oxygène pur et un 4e haut fourneau (3 200 m³). Le plan prévoit également des installations pour la production de fer-blanc et de tubes soudés électriquement.

L'usine de Novo Lipetsk, en Russie d'Europe, ne dispose encore que de 4 hauts fourneaux (dont 1 de 2 700 m³), 1 aciérie à l'oxygène pur, 2 fours électriques à arc, 8 installations de coulée continue (traitant la totalité de la production d'acier brut) et des installations de laminage des produits plats (dont 1 train à chaud de 2 000 mm 1 train Steckel et 1 train Sendzimir de 1 200 mm ; un train à froid de 2 000 mm est actuellement en construction).

Cependant, le programme actuel prévoit de porter la capacité de Novo Lipetsk à 15 millions de tonnes d'acier brut vers 1980 et peut-être 20 à 22 millions de tonnes par la suite. Ce programme implique la construction des installations suivantes :

— haut fourneau n° 5 (3 200 m³) actuellement en cours de montage et qui devrait être mis à feu dans le courant de 1972, puis hauts fourneaux n°s 6 et 7 (pour lesquels on prévoit un volume utile de 5 000 m³) ;

— seconde aciérie à l'oxygène, composée de creusets de 350 t et d'une capacité de 8 à 10 millions de t/an ; les premiers creusets pourraient être mis en service dès 1973 ; une 3e aciérie à l'oxygène serait prévue au stade final ;

— de nouvelles installations de coulée continue et de nouveaux trains à larges bandes.

L'usine Zapsib (Sibérie Occidentale) à Antonovskaïa, près de Novokuznetsk, doit maintenant disposer de 3 hauts fourneaux (1 de 2 000 m³, 1 de 2 700 m³, 1 de 3 000 m³ et de creusets à l'oxygène de 130 à 250 t. Son programme de fabrication porte sur les produits longs.

Une nouvelle aciérie à l'oxygène (3 creusets de 350 t), d'une capacité de 8 millions de t/an, devait être mise partiellement en service dès 1973. Pour permettre une pleine utilisation de la capacité de la nouvelle aciérie, il est prévu de nouveaux fours à coke, un nouveau haut fourneau (5 000 m³) et l'extension du programme de fabrication aux tôles minces.

L'objectif pour 1985 serait de 10,6 millions de tonnes de fonte, 14,5 millions de tonnes d'acier brut et 12,5 millions de tonnes de laminés.

S'ils sont pleinement réalisés sans compensation, par arrêt d'installations anciennes, les projets évoqués ci-dessus aboutiraient, d'ici au début des années 1980, à une augmentation de capacité de près de 40 millions de tonnes se répartissant entre 7 grandes usines (sans compter l'expansion possible à Magnitogorsk ni la construction possible de nouvelles grandes usines en Sibérie Orientale et dans l'anomalie de Koursk).

De toute façon, même si des arrêts d'installations anciennes intervenaient par ailleurs, ces quelque 40 millions de tonnes de capacité nouvelles se composeraient exclusivement de grandes aciéries à l'oxygène pur (alors qu'en 1970, l'U.R.S.S. n'a encore produit que 20 millions de tonnes d'acier à l'oxygène pur sur une production totale de près de 116 millions de tonnes).

a VÖEST en 1971

La production de la VÖEST s'est établie, en 1971, à 1,9 million de tonnes de fonte, 2,3 millions de tonnes d'acier brut et 1,6 million de tonnes de produits laminés.

Le chiffre d'affaires à la clientèle, pour l'ensemble du groupe, a été d'environ 11 milliards de schillings, en augmentation de 14,6 % sur l'année précédente, ceci en dépit du fait que le gros contrat pour la livraison de tubes à l'U.R.S.S. était venu à expiration en 1970.

La VÖEST AG, société mère, a elle-même réalisé un chiffre d'affaires de 10 136 millions de schillings (dont près de 60 % à l'exportation) contre 8 811 millions de schillings en 1970, soit une augmentation de 15 %. Cependant le chiffre d'affaires du secteur sidérurgique (qui représente environ 75 % du chiffre d'affaires total) a augmenté seulement de 1,7 % tandis que l'augmentation la plus spectaculaire a été réalisée dans le secteur de la construction d'installations industrielles (+ 161,4 %).

En raison de l'augmentation des coûts, le résultat brut d'exploitation a diminué de 28,6 % et le bénéfice net s'est établi seulement à 180 millions de schillings contre 229 millions de schillings en 1970. Ce bénéfice permet encore le versement à l'Etat (actionnaire unique) d'un dividende inchangé de 5 % (soit 75 millions de schillings) et d'une bonification de 7 % (soit 105 millions de schillings) alors que la bonification avait été de 11 % pour l'exercice 1970.

Les investissements ont fortement augmenté en 1971, atteignant 1 528 millions de schillings contre 947 millions de schillings en 1970 (+ 61,4 %). Ces investissements ont été financés pour 53 % par les amortissement normaux et spéciaux, pour 13 % par des crédits d'investissements à long terme, et pour 34 % par une augmentation du capital (porté de 1,4 à 1,5 milliard de schillings) et par une augmentation des provisions à long terme.

L'augmentation des investissements en 1971 s'explique par le programme visant à porter la capacité de la société à 3,1 millions de tonnes d'acier brut, programme dont les principaux éléments devraient être achevés en 1972-73 et qui comporte notamment :

— la construction d'une 3e aciérie LD (2 creusets de 100 t) et d'une seconde installation de coulée continue pour brames (achèvement prévu fin 1973),

— l'addition d'une 7e cage au train à chaud à larges bandes dont la capacité atteindra ainsi 190 000 t par mois,

— la construction d'un train à froid à 4 cages qui portera la capacité en tôles à froid de 600 000 à 1,1 million de tonnes par an (achèvement prévu en 1976),

— la construction d'une ligne de galvanisation Sendzimir.

Dans le cadre de ce progamme, les investissements devraient à nouveau atteindre quelque 1 500 millions de schillings en 1972. Cependant, la société ne s'attend pas à une amélioration de son bénéfice pour l'exercice en cours et c'est pourquoi elle a récemment émis un emprunt de 300 millions de schillings (portant intérêt à 7 % et d'une durée de 15 ans), un emprunt de 50 millions de F suisses (portant intérêt à 5,5 % et d'une durée de 15 ans) et un emprunt de 30 millions de F suisses (portant intérêt à 5,5 % et d'une durée de 10 ans).

En ce qui concerne les contrats à moyen et long termes pour des livraisons de tôles, il faut noter que la VÖEST a conclu, en 1970, un contrat prévoyant la livraison à l'U.R.S.S. (sur une période s'étendant jusqu'en 1975) d'un total de 600 000 t de tôles, surtout des tôles carrosseries.

D'autre part, dans le délai d'un an à compter d'août 1972, la VÖEST fournira 110 000 t de tôles pour la construction du gazoduc transautrichien ; ces tôles seront converties en tubes à l'usine de Tarente de l'Italsider (si celle-ci ne pouvait traiter la totalité du tonnage, la VÖEST pourrait également recourir aux services du groupe Mannesmann).

Il faut enfin signaler que, selon des informations de juin 1972, la VÖEST a conclu un accord de principe avec l'ISCOR pour la construction en commun d'une usine à demi-produits en Afrique du Sud. Cette usine, qui disposerait d'une capacité initiale de 1,5 million de t/an de demi-produits destinés à l'exportation, pourrait être implantée en bordure de la voie ferrée devant relier les mines de Sishen au port de Saldanha. L'ISCOR (seule ou conjointement avec d'autres intérêts sud-africains) aurait une participation d'au moins 51 % dans la nouvelle entreprise, le reste étant détenu par la VÖEST (seule ou conjointement avec d'autres intérêts internationaux).

Nouvelles brèves

Signature d'une convention sidérurgique sénégalo-allemande.

Le Premier ministre sénégalais a procédé récemment à la signature d'une convention d'établissement avec la société « Senegal Steel Industries », dont le principal actionnaire est un groupe allemand de Hambourg. Cette convention a pour objectif la création, à Dakar, d'une aciérie électrique dont la production permettra de couvrir les besoins du marché sénégalais et des pays voisins. Les investissements prévus sont d'un montant de 515 millions de F CFA.

La société envisage d'utiliser principalement comme matière première des billettes d'acier qui seront importées d'Europe, mais aussi, dans un proche avenir, la ferraille disponible au Sénégal et dans les Etats voisins. Dans cette société, des Sénégalais seront actionnaires.

Nouvel accord entre l'U.R.S.S. et la R.F.A. pour l'échange de tubes de gazoduc contre du gaz naturel.

Un nouvel accord signé récemment entre la R.F.A. et l'U.R.S.S. prévoit la livraison pendant vingt ans de 4 millions de mètres cubes de gaz naturel russe par an, s'ajoutant aux trois milliards de mètres cubes faisant l'objet de l'accord précédent, en échange de la livraison de 1,2 million de tonnes de tubes allemands de grand diamètre (1 420 mm), permettant de construire un gazoduc d'une longueur de 2 400 kilomètres. Cette livraison représente une somme de 1 milliard 200 millions de DM, le paiement des tubes devant être financé par les livraisons de gaz. L'U.R.S.S. bénéficie d'un crédit bancaire du même montant dont le taux d'intérêt est gardé secret, mais qui s'établirait autour de 6 %.

Les parties contractantes du nouvel accord sont le groupe Mannesmann, produisant les tubes, la société de la Ruhr pour la production et distribution de gaz « Ruhrgaz A.G. » et la « Prom-Syrioimport » du côté soviétique.

Tubes algériens pour la distribution du gaz naturel en Algérie.

Un contrat vient d'être conclu en Algérie entre la Société Nationale de Sidérurgie et la Sonatrach pour la fourniture de 268 km de tubes d'un diamètre de 508 mm qui seront utilisés pour la construction des antennes de distribution de gaz. C'est le troisième contrat signé entre les deux sociétés. Il porte à plus de 1 200 km la quantité de tubes fournis par la S.N.S. à Sonatrach.

L'innovation de cette troisième commande est que les bobines nécessaires à la fabrication des tubes seront produites pour la première fois par d'usine sidérurgique d'El Hadjar.

Construction par la Stelco d'une nouvelle usine pour la fabrication de tubes.

Le président de la Steel Company of Canada a annoncé récemment la construction prochaine à Welland (Ontario) d'une nouvelle usine pour la fabrication de tubes à soudure hélicoïdale.

Cette nouvelle installation représente un investissement de 18 millions de dollars. Une nouvelle technique de fabrication appelée Stelform, mise au point par la Stelco, sera utilisée pour la première fois. Elle devrait être exploitée par la suite aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne sous le nom de Hoesch-Stelco.

Le démarrage de la production devrait intervenir au cours du premier trimestre de 1974.

Création en Mauritanie d'une « Société Nationale Industrielle et Minière ».

Un décret portant création et organisation d'un établissement public, dénommé « Société Nationale Industrielle et Minière » (S.N.I.M.) a été récemment adopté par le Conseil des ministres mauritaniens.

Le communiqué du Conseil des ministres précise que cette société « sera l'instrument qui permettra l'intervention dynamique de l'Etat dans les domaines de la recherche, de l'exploitation et de la transformation des substances minérales ».

Extension du complexe sidérurgique mexicain de Las Truchas.

Les autorités mexicaines ont invité récemment des journalistes nationaux et étrangers à visiter les travaux d'extension du complexe sidérurgique Lazaro Cardena Las Truchas, situé au nord d'Acapulco.

11 000 millions de pesos (près de 900 millions de dollars) seront investis dans le complexe qui, au terme de la première étape (début 1976), aura une capacité de production de 1 250 000 t de produits finis. Au terme de la seconde étape (fin 1980), il produira un million de t supplémentaires par an de produits plats.

Pour les besoins du complexe, le Ministère de la Marine aménage le port de Lazaro Cardena qui est appelé à devenir un des plus importants du Mexique et pourra accueillir des bateaux de 50 000 t.

Des routes vont être construites, des lignes télégraphiques et téléphoniques posées, des services publics établis pour desservir une agglomération dont la population doit passer de 10 000 actuellement à 250 000 habitants.

Un nouvel acier inoxydable mis au point au Japon.

Les Japonais affirment avoir mis au point la fabrication d'un acier inoxydable « cinq à dix fois supérieur au point de vue résistance à la corrosion » que l'inox actuel. Le nouvel alliage a été fabriqué à l'Institut de recherches métallurgiques de l'université de Tohoku, dans le nord-est du Japon. Des demandes de brevets auraient été déjà faites aux Etats-Unis et en République Fédérale d'Allemagne.

La firme japonaise Showa Denko a déjà accepté de produire le nouvel acier inoxydable, dont la caractéristique principale est de contenir jusqu'à 30 % de chrome. Jusqu'à présent, selon les professeurs Tohei Ottoya et Saburo Shimodeira, qui dirigent l'équipe de chercheurs ayant mis au point le nouveau procédé de fabrication, « il n'était pas possible de dépasser la limite des 25 % de chrome, sans rendre l'acier cassant ».

La nouvelle technique permet de franchir cette barrière des 25 %, grâce à l'addition, sous vide, d'un mélange de calcium et d'argon. En plus de ce mélange, l'acier inoxydable « Otoya » comprend 0,05 % de carbone, 0,01 % d'azote et 2 % de molybdène.

Les inventeurs affirment que le nouveau procédé revient moins cher que la technique classique de fabrication.

l'entretien en sidérurgie

INTRODUCTION

« Le problème de l'entretien est l'objet de préoccupations actuelles plus qu'il n'a été jusqu'alors dans la grosse industrie et en particulier dans la sidérurgie ».

Rappelant cette phrase par laquelle M. Desécures commençait son exposé d'introduction de la « *Journée de l'Entretien* » du 3 mai 1962, le Président de séance, M. Chevalier, constate qu'elle conserve aujourd'hui toute sa valeur.

Dans les usines sidérurgiques de capacité voisine ou inférieure au million de tonnes annuel, la part des frais d'entretien représente ou représentait environ 25 % des frais de transformation (enfournement et énergie exclus).

On constate que dans les usines modernes dont la capacité est de l'ordre de 3 à 4 millions de tonnes par an, cette proportion devient 35 à 40 %.

Et l'on prévoit que les frais d'entretien dans les usines de 7 à 8 millions de tonnes représenteront entre 60 et 70 % des frais de transformation, bien que leur coût rapporté à la tonne doive toujours diminuer.

Les facteurs les plus importants de cette croissance constante des frais d'entretien par rapport aux frais de transformation sont au nombre de trois :

— l'augmentation des capacités unitaires des installations de production,

— l'automatisation de ces mêmes installations,

— l'affinement dimensionnel et en qualité des produits fabriqués, donc par voie de conséquence l'affinement de la technologie du matériel utilisé.

On constate ainsi un déplacement ou mieux une véritable mutation des fonctions classiques de fabrication. Ces fonctions concernent de plus en plus la technicité des installations et relativement moins la technique du procédé.

Ce déplacement se traduit à la fois dans l'effectif et dans le niveau des connaissances et des aptitudes, et l'on voit apparaitre dans l'entreprise moderne une fonction technique globale dont l'entretien classique tel que nous l'avons connu n'est plus qu'une partie.

Les tendances actuelles concernant l'évolution des idées sur ce sujet sont :

— la liaison entretien-travaux neufs,

— la notion d'optimisation du coefficient d'utilisation des matériels,

— la gestion économique de l'entretien,

— la gestion du personnel d'entretien.

sommaire des mémoires

parus dans

les mémoires scientifiques de la revue de métallurgie septembre 1972

mémoires

Hanauer (C.), Merlin (J.), Perez (J.), Gobin (P.F.), Castre (Mlle C.), Wintenberger (M.). — Etude de la précipitation dans l'alliage aluminium-cuivre 4 % par mesure de frottement intérieur, dureté et par microscopie électronique.

Languille (A.), Rémy (C.), Calais (D.). — Influence de la transformation $\beta \rightarrow \alpha$ et de l'oxygène sur la répartition du plutonium dans les alliages Zr-Pu et Ti-Pu dilués.

Fantozzi (G.), Fouquet (F.), Gobin (P.F.). — Frottement intérieur et anomalie de module de l'aluminium irradié et déformé à basse température.

Lieurade (H.P.), Rabbe (P.). — Etude, à l'aide de la mécanique de la rupture, de la vitesse de fissuration en fatigue d'une gamme étendue d'aciers.

Chevrier (J.C.), Beck (G.). — Recherche d'une définition générale du pouvoir refroidissant d'un liquide de trempe.

Jeanjean (R.), Dubois (J.), Mai (C.), Rivière (R.), Fetiveau (Y.). — Mesures enthalpiques sur la transformation allotropique des alliages de cobalt.

Margot-Marette (Mme H.), Riboud (P.V.). — Etude des températures de liquidus du système CaO-P_2O_5-SiO_2-oxyde de fer.

Akeret (R.). — Filage de l'aluminium. Analyse des phénomènes thermiques pour différentes conditions opératoires.

entretien des installations d'automatismes

J. Soland (SACILOR)

Communication présentée à la " Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie " organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

Dans cet exposé, nous examinerons les questions suivantes :

— classification des installations,

— problèmes généraux d'entretien,

— difficultés liées aux automatismes,

— rôle de l'entretien,

— mise en place d'un système d'entretien.

— sous-traitance,

— formation,

— gestion budgétaire,

— ateliers,

— documents,

— rôle de l'entretien au stade de la conception des équipements,

— fiabilité et aptitude à l'entretien.

IMPORTANCE ET CLASSIFICATION DES INSTALLATIONS

Instrumentation.

On peut classer dans cette famille tous les « capteurs » liés à une grandeur physique ainsi que le traitement et la visualisation des informations issues de ces capteurs. Outre les grandeurs classiques (pression, débit, température, analyse, grandeur électrique), il ne faut pas oublier les grandeurs dimensionnelles et les pesées.

Dans une usine semi-intégrée de 1,5 MT et 500 000 t d'acier, on note par exemple :

1 500 points de mesure

2 500 indicateurs

500 enregistreurs.

Les appareils de laboratoire forment une famille complémentaire mais importante quant au volume des

investissements ; leur entretien ne doit pas être oublié.

Automatismes séquentiels et combinatoires.

Règne de l'électromécanique, il y a quelques années, on y note une percée importante de l'électronique.

Le pneumatique et l'hydraulique semblent limités aux organes de puissance ou à quelques installations compactes, telles que les machines outils. Les écarts d'importance des automatismes entre les installations, écarts liés à l'âge des installations, sont plus importants que pour l'instrumentation.

Régulations.

Deux familles de chaine de régulation :

— régulations « lentes » du type I PI ou PID réservées aux réglages de grandeurs dont les constantes de temps de réponse vont de la seconde à plusieurs heures ;

— régulations « rapides » essentiellement liées aux laminoirs pour lesquels les temps de réponse doivent être de l'ordre de quelque 1/10 de seconde.

Ordinateurs.

Pour ce qui nous concerne ici, deux familles d'ordinateurs :

— ceux de petite taille type 10 010, T 2 000 ou PDP 8 dont l'entretien et la surveillance sont souvent du ressort des usines qui en ont d'ailleurs la propriété ;

— ceux de taille moyenne type 1 800 ou 10 020 pour lesquels des contrats d'entretien sont souvent passés avec le fournisseur. (Ces ordinateurs, à ma connaissance, ne sont pas encore utilisés en DDC en sidérurgie).

Transmissions.

— Réseaux téléphoniques

— Télétransmissions.

— Interphone, trolleyphone.

— Télévision.

— Liaisons radio.

Synthèse.

Sans atteindre les pourcentages élevés de l'aviation ou de l'énergie atomique, la part de l'instrumentation et de l'automatisme dans nos équipements commence à ne plus être négligeable.

Un taux d'accroissement en valeur d'achat de 20 % par an peut paraitre raisonnable, ce qui correspondrait à un doublement des dépenses d'entretien tous les six ans. Malgré les marges d'erreurs que l'on peut donner à ces chiffres, ceci justifie à mes yeux que l'on se penche davantage sur le problème de l'entretien de ces équipements.

RAPPELS SUR LES PROBLÈMES GÉNÉRAUX D'ENTRETIEN

Evolution de l'entretien.

Trop souvent, la fonction « entretien » a été une fonction secondaire que l'on subit et dont la rentabilité reste toujours difficile à saisir. Complexité des installations, multiplicité des techniques, caractère empirique des méthodes, ingratitude du métier, tous ces traits contribuent à faire de la fonction entretien une tâche difficile.

Pourtant, ce métier est en train d'évoluer. L'entretien devient indissociable des problèmes de gestion. M. Michel, dans un colloque organisé par l'Institut du Pétrole, a écrit : « Il faut notamment raisonner, organiser et choisir l'entretien préventif, ... il faut programmer au maximum les interventions et prévoir leur apparition. C'est donc une recherche incessante de compromis technico-économique et technico-financier »...

Jusqu'à maintenant, ces choix étaient trop souvent basés sur des valeurs subjectives. Les méthodes modernes de gestion obligent les responsables de l'entretien à utiliser les outils qu'on peut mettre à leur disposition. La « fiabilité » et « l'aptitude à l'entretien » sont parmi ces outils qui utilisent d'ailleurs largement les lois de la statistique.

Importance du coût de l'arrêt.

L'importance des équipements qui nous intéressent sur la bonne marche des installations qu'ils contrôlent ou règlent nécessite la mise en place d'une politique d'entretien qui tient compte du coût de l'arrêt de ces installations.

En période de faible conjoncture, la politique d'entretien doit être modifiée ; par contre, il peut être payant d'avoir temporairement des frais importants et supérieurs à ceux prévus pour éviter des défaillances sur certains équipements.

Ces choix imposent un dialogue permanent entre les responsables de l'entretien et ceux de la fabrication. Il faut se rappeler qu'en moyenne, l'entretien coûte annuellement 10 % du coût actualisé du matériel installé.

Durée de vie des équipements.

Les installations nouvelles sont étudiées pour une durée de vie calculée à l'avance en fonction de lois économiques qui sont du ressort des financiers.

Il faudrait que les installations d'automatisme et d'instrumentation soient conçues en fonction de cette durée de vie et aient une politique d'entretien qui lui soit adaptée.

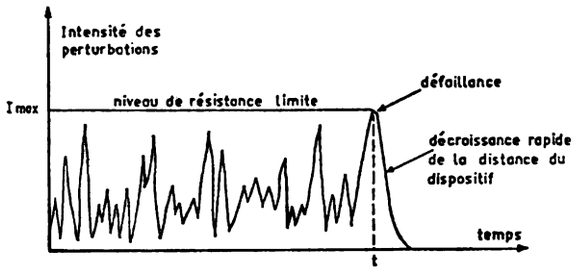


Figure 1 a. — Explication d'une défaillance catalectique.

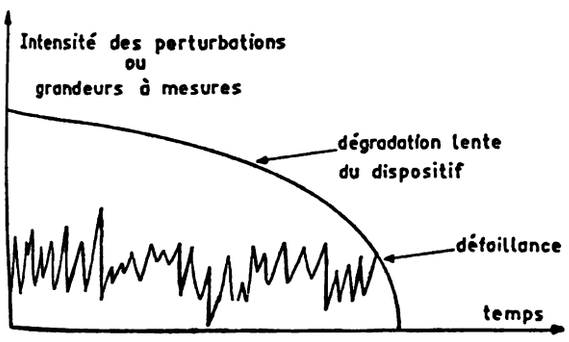


Figure 1 b. — Défaillance suite à une dégradation lente.

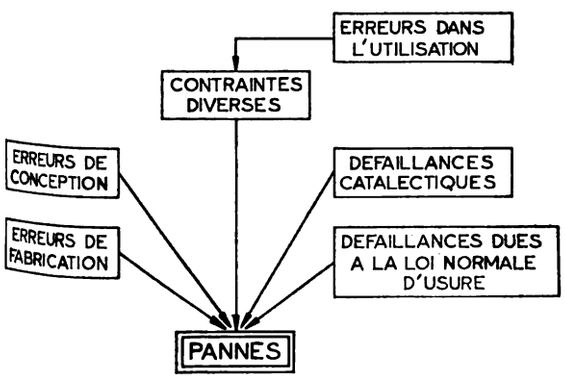


Figure 2. — L'entretien est la source de base des informations sur les défaillances en exploitation.

Peut-on prévoir quel sera l'état d'un équipement d'automatisme monté en 1970 sur un laminoir, au bout de la durée de vie de ce laminoir, 25 ans par exemple ?

L'évolution technique du matériel rend ce problème particulièrement délicat.

Les différentes formes de l'entretien.

Entretien curatif.

Intervient en cas de panne, il n'engage pas de dépenses périodiques apparemment sans objet. La dépense est immédiate et échappe à toute prévision.

Entretien correctif.

Essentiellement au début de la vie d'un équipement, il a pour but, à la mise en service, de détecter les modifications ou améliorations à apporter aux équipements pour diminuer les coûts (entretien + arrêts de production).

Entretien préventif.

Se situe pendant la durée de vie normale de l'équipement, il s'agit d'effectuer une dépense « mesurée » périodiquement et concertée pour diminuer et même éliminer la grosse dépense au moment de la panne.

On reviendra un peu plus loin sur les fondements de l'entretien préventif.

Entretien systématique.

Dans ce cas, la dépense est mesurée et périodique, mais non concertée.

Entretien palliatif.

Se situe à la fin de la vie de l'équipement et consiste en l'utilisation de moyens les moins coûteux possibles qui permettront à l'équipement de fonctionner jusqu'à son arrêt définitif.

Fondements de l'entretien préventif.

Il a pour base la connaissance de l'usure de l'équipement.

Théoriquement, l'usure est une grandeur préhensible même dans les équipements électroniques.

L'usure doit être déterminée avant la défaillance (fig. 1 et 2).

Principes de l'entretien préventif.

Compréhension du fonctionnement et de la fonction :

— Localisation des points clés.

— Définition de l'état du point clé.

— Mise en place de la visite périodique.

— Enregistrement de l'état.

— Perfectionnement de l'équipement.

— La réparation rétablit l'état neuf.

DIFFICULTÉS PARTICULIÈRES LIÉES AUX AUTOMATISMES ET A L'INSTRUMENTATION

Les principes énoncés plus haut sont connus depuis longtemps, pourquoi sont-ils rarement utilisés dans les équipements d'automatismes et d'instrumentation ?

Les ateliers chargés de la surveillance de ces matériels sont rarement intégrés aux structures d'entretien des usines ; cela tient aux difficultés qu'ont rencontrées les responsables de ces ateliers.

Diversité des techniques.

On peut rarement isoler une technique dans les installations qui nous intéressent.

Electronique, électromécanique, hydraulique, pneumatique, horlogerie, sont intimement liées. Si, actuellement, l'électronique est un dénominateur commun à beaucoup d'installations, demain ce sera peut-être le tour de la fluidique.

Dispersion des installations.

De par la nature même de leurs fonctions, les équipements d'instrumentation et d'automatisme sont dispersés dans tous les secteurs de nos usines avec des variations de densité extrêmement importantes.

Cette dispersion géographique est un paramètre important dans la mise en place d'une politique d'entretien.

Difficultés liées à la nature même des équipements.

— Compréhension difficile du fonctionnement, car les équipements sont de plus en plus complexes et les dossiers techniques incomplets.

— Détermination des points-clés. Sont-ils représentatifs de l'installation ?

— Difficultés de définition de l'état d
Est-il représentatif de l'état de l'usur

— Difficulté d'établissement du contenu

Problèmes de constructeurs.

Les constructeurs n'ont peut-être pas compte des problèmes d'entretien. Si ce s'améliore, nul ne peut nier les progrès à accomplir (en particulier vis-à-vis de tants).

Le cas des constructeurs étrangers e chaque constructeur ayant une politique c fonction de son pays d'origine, de sa re en France, etc.

Difficultés liées aux personnes.

Le personnel formé aux techniques qu ressent est mal formé aux problèmes d'e n'a que trop parlé des électroniciens, ce tuels en blouse blanche » plus tentés par tion et la réalisation d'équipements neu l'entretien de ceux qui sont en place. Ils n pas les seuls et les spécialistes qui sor lement des IUT ne nous semblent pas tou armés.

ROLE DE L'ENTRETIEN

En simplifiant, on pourrait dire que l pour but de maintenir économiquement pour laquelle un matériel est prévu.

En ce sens, l'amélioration qui visera l'entretien fera partie de l'entretien.

Comme dans nos usines, l'accent est problèmes économiques au travers de budgétaire ; l'entretien préventif qui voit se concertées sera au premier plan des pré des responsables d'entretien.

MISE EN PLACE D'UN SYSTÈME D'E

Découpage des installations.

Le découpage sera à la fois géographi nologique de façon à pouvoir cerner les c térêt.

Définition des échelons de maintenai

Pour chaque installation, et chaque s sera défini 5 échelons d'entretien.

Mise en place des moyens d'entretien « locaux » et « centraux ».

Selon l'importance des secteurs géographiques et de l'usine, on trouvera :

— des secteurs composés d'ingénieurs responsables, d'un bureau technique, d'équipes « postées », d'équipes « jour » ;

— un atelier avec des équipes d'interventions et dont le rôle sera vu ultérieurement ;

— une équipe de « mise au point » pour les problèmes délicats que les secteurs ne peuvent prendre en charge ;

— une équipe travaux neufs pour les grosses installations mais aussi pour les installations complémentaires ou les grosses améliorations ;

— de différentes spécialités qu'on jugera bon « d'isoler » comme les calculateurs ou les téléphones.

Répartition des différents échelons d'entretien à affecter à chacune des équipes définies ci-dessus.

Cette répartition se fera en fonction de la complexité des installations, des qualités et quantités du personnel dans chacun des secteurs et du choix de la politique d'entretien à adopter pour chaque installation.

Exploitation sur les plans techniques et économiques des différentes informations.

— Courbes d'arrêt des installations.

— Coût des interventions.

— Périodicités des opérations d'entretien.

SOUS-TRAITANCE

Pour l'entretien des installations d'instrumentation et d'automatisme, il semble, tout au moins dans nos régions, que la sous-traitance soit abordée avec beaucoup de réticence, voire de la répulsion. Elle atteint déjà cependant plus de 10 % des services d'entretien dans certaines unités.

Il faut distinguer la sous-traitance de capacité qui est capable de fournir un supplément de volume de travail, de la sous-traitance de spécialité qui apporte des moyens humains et matériel de compétence particulière.

Nos usines, de par leur contexte général, mais aussi par la défaillance des sociétés de sous-traitance ou de constructeurs, ont été trop habituées à vouloir tout faire par elles-mêmes, allant jusqu'à se substituer aux constructeurs pour la fabrication du matériel neuf.

Quelle que soit la formule adoptée — et l'éventail des possibilités est très grand — il faut que les responsables d'entretien gardent le contrôle technique de toutes les interventions sous-traitées et puissent garder les opérations qui apportent quelque chose sur le plan sidérurgique.

FORMATION DU PERSONNEL

Notre profession, plus encore que d'autres peut-être, souffre d'une inadaptation de la formation professionnelle aux problèmes d'entretien. En attendant que l'Education Nationale puisse réadapter ses programmes à nos problèmes, il faut prévoir des actions de formation complémentaire qui pourraient être données :

— soit par l'entreprise,

— soit par les centres de perfectionnement,

— soit par le constructeur.

Quatre points sont à examiner :

a) Les niveaux auxquels se situent la formation : ouvriers techniciens, techniciens supérieurs D.U.T., ingénieurs.

b) Les spécialités.

En dehors des deux grandes spécialités de départ, les électroniciens et les spécialisés en instrumentation, on trouvera : les dépanneurs radio-télé, les mécanographes, les horlogers, les téléphonistes, etc.

c) L'adaptation de la formation à l'évolution des matériels.

Il faudra, pour y arriver, à la fois donner à tout le personnel des cours de formation générale et les envoyer ensuite chez les principaux constructeurs des matériels rencontrés. Il faut insister sur l'utilité des cours de formation générale pour que les stages chez les constructeurs puissent être suivis avec profit.

d) Les moyens dont les usines doivent disposer pour former le personnel.

Les centres de formation doivent pouvoir disposer de matériel permettant à tous les participants aux stages un contact direct avec le matériel.

Il est vraisemblable que deux semaines de formation en moyenne par an et par personne soient nécessaires.

GESTION BUDGÉTAIRE

Après la phase de démarrage des installations où les problèmes techniques sont prépondérants, le suivi des coûts d'entretien doit être introduit progressivement.

La mise en place d'une politique de gestion budgétaire nécessite quatre phases :

Découpage des installations en « unité d'entretien » ou « appareils ».

C'est là que se situe la principale difficulté pour les installations d'électronique et d'automatisme. En effet, en dehors des grosses installations comme une régulation de laminoirs, il faut choisir entre un regroupement d'installations géographiquement dispersées, mais formant une unité d'entretien homogène sur le plan technique ou l'incorporation des installations aux unités d'entretien électromécanique où elles sont situées géographiquement.

Recueil des dépenses.

Le recueil se fera en séparant les coûts :

— les coûts importants qui font l'objet d'opérations individuelles avec un devis préalable. Le seuil peut être situé à 2 000 ou 3 000 F ;

— les coûts peu importants pour lesquels sont passées des commandes permanentes, en général annuelles.

Prévisions des dépenses.

On retrouve ici les deux types de dépenses :

— dépenses courantes établies à partir du bilan des dépenses annuelles « coûts faibles » divisées par 12 et majorées d'un coefficient qui tient compte des différentes augmentations prévisibles (salaires, matières premières) ;

— dépenses individuelles dont la périodicité est revue en fonction de l'état de l'installation et de la politique d'entretien choisie. Les dépenses sont ensuite programmées mois par mois.

Contrôle du budget.

Il s'agit de pouvoir contrôler que les dépenses réelles correspondent bien aux dépenses prévues. Une des principales difficultés pour ce contrôle vient de la constante de temps dans la restitution des coûts réels. La facturation met en effet souvent 3 à 6 mois.

En fait, il faut, ici comme ailleurs, que le suivi des coûts d'entretien des installations d'instrumentation et d'automatisme soit homogène avec le suivi des coûts d'entretien des autres installations.

ATELIERS

Rôle.

La mise en place d'un ou plusieurs ateliers ne se conçoit qu'en complément de ce que l'on trouve ailleurs, c'est-à-dire les moyens mis à la disposition des secteurs, mais aussi des ateliers électromécaniques. Il est nécessaire de donner à ces derniers toutes les opérations pour lesquelles ils sont mieux armés que les ateliers d'électronique et d'instrumentation : réparation de vannes ou de moteurs par exemple.

L'atelier central a un double but :

— réparer le matériel qui lui est envoyé par les secteurs,

— fournir aux secteurs un appui de main-d'œuvre et de matière grise sous forme d'équipes d'intervention.

Cet appui est fourni principalement lors des arrêts programmés.

Le rôle de l'atelier est souvent délicat ; il doit bien sûr être d'abord au service des secteurs pour la bonne marche des installations, mais aussi il doit avoir une organisation qui lui permette d'utiliser au mieux, à tout instant, les moyens dont il dispose et de facturer ses prestations à ses différents « clients ». Ces contraintes ne sont pas toujours bien perçues par tous les services.

Un atelier comprendra donc un bureau technique, les ateliers proprement dits et les services annexes.

Bureau technique de l'atelier.

Le bureau technique de l'Atelier Central électronique aura pour but :

— d'établir les liaisons entre atelier et préparations de secteur,

— de planifier et de suivre les travaux des différentes équipes d'atelier,

— de gérer le local transit,

— de comptabiliser les travaux effectués en atelier en les imputant aux différents secteurs émetteurs,

— de centraliser toute la documentation,

— de tenir à jour tout le fichier des appareils implantés sur les lignes,

— de gérer le prêt des appareils,

— de gérer les articles nécessaires au dépannage se trouvant en magasin,

— de commander certains organes de rechange non stockés par le magasin,

— de sous-traiter à d'autres services ou à l'extérieur de l'usine certains travaux ne pouvant être effectués en atelier.

Ateliers.

Spécialités.

En fonction de la densité des installations et de leur dispersion géographique, on peut être amené à créer, dans l'atelier, plusieurs spécialités.

On trouvera, par exemple : l'instrumentation, la métrologie, la mécanographie, périphériques de calculateurs, modules électroniques, pesage, capteurs cellules, transmissions, téléphone, pyrométrie, analyseurs.

D'autres spécialités pourront être créées ou ajoutées aux spécialités existantes : sondage par ultrasons, jauges à rayons X, etc.

D'autres non liées à la nature des installations seront à rechercher en sous-traitance : machines à écrire, machines à reproduire par exemple.

Moyens.

a) Locaux.

Les ateliers ne manipulant pas de pièces lourdes (inférieures à 50 kg), les infrastructures seront légères ; le coût sera d'environ 1 000 F le m^2 installé (HT).

L'éclairage devra être très bien étudié : éclairage général + éclairage individuel par table.

La climatisation est souhaitable (T° 21°C ± 2, humidité 45 % ± 10 %, dépoussiérage).

La table individuelle, du type « tiro-class », table de 1,50 × 1 m, 1 rangée de tiroirs, 1 étagère supérieure.

L'outillage est peu important : 2 ou 3 petites perceuses et meules.

Mobilier permettant le rangement de très nombreuses petites pièces.

Une répartition des surfaces pourrait être la suivante :

— ateliers équipes d'intervention : 70 % de la surface ;

— magasin local transit : 10 % ;

— bureau technique bureaux : 7 % ;

— vestiaires : 8 % ;

— divers : 5 %.

b) Personnel.

Le profil du personnel employé dans l'atelier peut différer très nettement de celui des secteurs ; le travail en atelier, s'il comporte une partie interventions sur le tas, est sédentaire.

La population est constituée de la façon suivante :

— 55 % ayant une formation de base d'électronicien,

— 20 % d'électromécaniciens,

— 15 % de mécanographes,

— 5 % d'horlogers,

— 5 % administratifs - annexes.

La formation du personnel doit être complétée par de très nombreux stages chez les constructeurs ; ces stages ont pour but autant de former les personnes que de permettre de recueillir tous les documents et informations nécessaires à la remise en état des matériels.

Les appareils.

De par sa situation, l'atelier utilise un parc important d'appareils, mais il est aussi le dépositaire des appareils « banalisés » et le responsable du bon état de l'ensemble du parc de la société.

Les appareils peuvent être classés en 4 catégories correspondant à des niveaux de besoin et de performances différents :

— les appareils de secteurs à poste fixe (enregistreurs, oscilloscopes) ou volants (multimètre, voltmètre numérique, émetteur de mV et mA, oscilloscopes, enregistreurs, etc.).

— les appareils banalisés, représentant en gros :

- oscilloscope : à 50 MHz, à mémoire ;
- enregistreurs : à encre, type SEFRAM, ultraviolet, magnétiques ;
- voltmètres numériques, continus et alternatifs ;
- fréquencemètre - chronomètre ;
- générateurs de fonction, etc.

— les appareils spécifiques d'ateliers :

- banc pour les transmissions (synthétiseur),
- bancs tests,
- appareils de précision pour étalonnage,
- étuves pour essais sur le matériel.

— les appareils étalons secondaires ; trop souvent oubliés et qui sont pourtant la seule garantie de performances pour l'ensemble du parc d'appareils.

Tous ces appareils, tout en devant être impérativement utilisés dès qu'un besoin se fait sentir, doivent être soumis à une gestion et un contrôle très rigoureux, sous peine d'une dégradation très rapide. Il faut absolument avoir confiance dans un appareil de mesure que l'on utilise.

L'ensemble du parc comprend souvent plusieurs centaines d'appareils d'un coût unitaire supérieur ou égal à 10 000 F.

Installations annexes.

Local transit.

Doit permettre :

— le dépôt du matériel à dépanner en attente de pièces ou dépanné ;

— le dépôt des appareils banalisés ;

— le libre service outillage et pièces de magasin.

Local nettoyage.

— Dépoussiérage à l'air comprimé.

— Lavage à l'eau.

— Nettoyage aux ultra-sons.

Vestiaires.

Par suite du rôle d'intervention de certaines équipes de l'atelier, il faut prévoir les vestiaires à proximité de l'atelier.

Transport.

Par son rôle central, l'atelier a à organiser le transport du personnel du service et du matériel dans différents secteurs : des camionnettes, R4 ou 2 CV, équipées de mousse de polyester pour protéger les appareils, conviennent parfaitement.

Equipes d'intervention.

Les équipes sont à la charnière entre les équipes de secteur et les ateliers.

On peut ou non les inclure dans le personnel d'atelier ; il semble cependant que la solution de les inclure aux ateliers permette une meilleure modulation dans la répartition des travaux. Cette solution permet en outre aux uns et aux autres une meilleure connaissance des problèmes, ce qui peut éliminer certains points de friction.

En ce qui concerne les symboles, il semble inutile pour l'utilisateur de vouloir imposer ses préférences. Il faut surtout souhaiter que les travaux en cours à la C.E.I. permettent d'aboutir à un rapprochement entre les symboles européens et ceux des pays anglo-saxons.

En ce qui concerne les formats, sauf pour les schémas de réalisation, seuls les formats A_4 et A_3 sont à utiliser pour des questions de facilité d'utilisation sur place et d'accessibilité lors du rangement.

En ce qui concerne la réalisation, les clauses des marchés sidérurgiques traitent abondamment de ce sujet. Il ne semble pas qu'il faille un traitement particulier pour les automatismes et l'instrumentation par rapport au reste du matériel.

Il faut insister une fois de plus sur l'importance pour le personnel d'entretien de disposer de documents pour suivre la construction et les mises en service des installations.

Utilisation.

Les documents servent d'abord au bureau d'étude et au constructeur ou à l'installateur. Les besoins sont alors différents de ceux du personnel d'entretien.

Une fois la réception définitive de l'installation prononcée, il faut qu'il ne reste dans l'usine qu'un seul dépositaire de la totalité des plans mis à jour. Ce point central, en général le bureau d'études, sera chargé d'effectuer les mises à jour à la suite des différentes interventions du personnel. En général, il se contentera alors de recopier les informations données sous forme de « minutes » par le personnel d'entretien et de faire parvenir à tous les utilisateurs un nouveau dossier mis à jour.

Il faut lutter contre la multiplicité des plans qui risquent alors de traîner sans que l'on soit sûr des mises à jour. Il est probable que 2 à 3 jeux de plans doivent suffire ; obligatoirement, un exemplaire se trouvera près du lieu d'utilisation : salle « électricité » par exemple.

En résumé, la constitution d'un dossier technique complet est une affaire difficile et onéreuse ; c'est pourtant un point fondamental pour la mise en place d'une politique d'entretien.

ROLE DE L'ENTRETIEN AU STADE DE LA CONCEPTION DES ÉQUIPEMENTS

Le dialogue et les échanges entre les bureaux d'études et les services d'entretien n'ont jamais été très faciles. D'autres professions que la nôtre, l'aéronautique par exemple, ont été amenées à repenser complètement ce problème ; il est vraisemblable que dans les installations récentes de la sidérurgie, les problèmes concernant les liaisons entre les études et l'entretien soient proches de ceux qu'ont rencontrés les constructeurs de radars par exemple.

Interventions du service entretien.

Les interventions du service entretien doivent se faire *a priori* et *a posteriori*.

A priori.

Par la définition de la « fiabilité » et de « l'aptitude à l'entretien » de l'installation, on pourrait dire par l'étude de la confiance que l'on veut pour le matériel et par la disponibilité que l'on en souhaite.

Par la publication de normalisation et de standardisation dans le but de prévoir des dépannages rapides et d'éviter l'introduction de matériel inconnu ou de montages incorrects.

A posteriori.

Par l'analyse et la synthèse de la marche des différents équipements, par exemple relevé de :

— mauvaise implantation,

— mauvaise accessibilité,

— pièces détachées inadaptées ou trop coûteuses,

— temps de démontage trop long,

— personnel d'entretien trop spécialisé.

A partir de ces éléments, les services Entretien sont souvent amenés à proposer et à réaliser des « remèdes » :

— modification des raccordements,

— protection contre la chaleur,

— changements de composants,

— antiparasitage, etc.

Echanges d'informations.

Il faut que, même après la période de mise en service des installations, les bureaux d'études et aussi les constructeurs soient tenus au courant de tous ces faits.

La mise en place du système permettant la transmission de ces données entre les services d'entretien, les travaux neufs et les constructeurs peut revêtir des formes très élaborées.

Comme toujours, l'essentiel est de trouver un « compromis entre le degré de finesse de l'information recherchée d'une part, et les considérations économiques auxquelles on est soumis d'autre part ».

Dans un premier temps, il faut donc une double démarche :

— Qu'à partir de l'analyse de la marche des installations les services d'entretien fassent l'effort de synthèse pour émettre leurs désirs, c'est-à-dire aboutir à la publication de recommandations, normes ou standards. C'est le cas des « Recommandations pour la réalisation et l'installation d'équipements électroniques destinés à la Sidérurgie », document publié par l'A.T.S.

En retour, les constructeurs, services d'engineering ou bureaux d'études, doivent faire état des difficultés rencontrées dans l'application de tels documents.

— Il faut informer de façon systématique et complète les constructeurs et bureaux d'études de la tenue de certains matériels ; en retour, ceux-ci devront faire part aux services d'entretien de leurs conclusions et modifications éventuelles.

Essai des appareils.

En ce qui concerne les tests à faire subir aux matériels neufs avant de les introduire dans nos équipements, les services d'entretien ont aussi leur rôle.

Jusqu'à ces derniers temps, les constructeurs fournissaient aux services d'entretien un exemplaire de leur fabrication; l'élément à examiner était alors monté et surveillé comme on le pouvait. Les résultats finaux étaient en général décevants, le même appareil étant fréquemment jugé bon dans une usine et détestable dans l'usine voisine.

Depuis quelques mois, le service « Mesures » de l'IRSID se penche sur ce problème qu'il connaissait déjà pour les tests d'analyseurs par exemple, en liaison avec d'autres laboratoires, français (I.C.T.E. par exemple) ou étrangers (T.N.O. en Hollande). Ce service de l'IRSID est en mesure de publier régulièrement des tests sur une gamme étendue de capteurs ou appareils nouveaux introduits sur le marché.

Pièces de rechange.

Le service « Etudes et travaux neufs » est chargé de la première dotation en pièces de rechange : ensembles, sous-ensembles, capteurs, etc.

Parmi d'autres, il y a deux problèmes importants qu'il n'est pas facile de régler :

— quelle doit être la composition de cette première dotation ?

— cette dotation doit-elle être calculée en sachant qu'avec l'évolution technologique du matériel le constructeur ne sera plus en mesure de fournir des rechanges au bout de quelques années ?

En ce qui concerne le premier problème, il n'y a pas de difficultés pour les équipements répétitifs (environ 10 % du matériel installé en rechanges), mais pour les équipements à l'unité, le choix est difficile ; sauf pour les éléments comme les tubes, les micro-

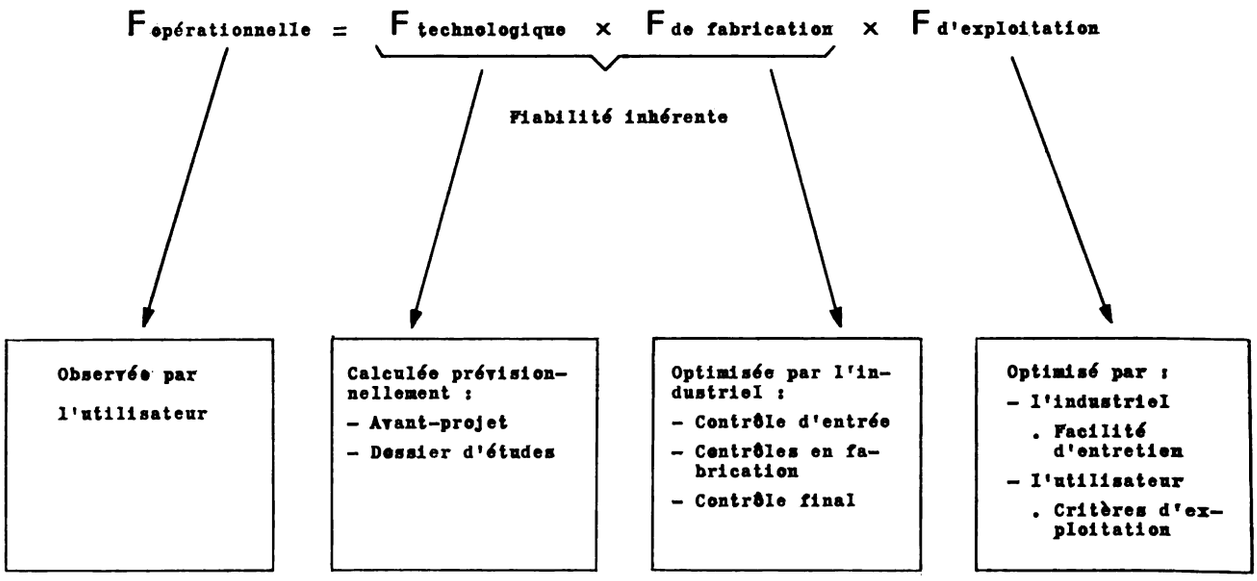


Figure 3.

moteurs, les engrenages, etc., il n'y a pas de critère d'usure.

Seule l'importance que l'on attache à la bonne marche du matériel, la qualité du matériel et le service après-vente du constructeur permettront de déterminer la politique à suivre.

Le second problème est sans doute le plus difficile à résoudre. Il faudrait que les services d'entretien puissent contractuellement avoir la garantie de pouvoir obtenir des constructeurs des pièces de rechange compatibles pendant au moins 10 ans après la mise en service industrielle. Des installations importantes doivent être complètement modifiées dans nos usines parce que le constructeur a fusionné avec d'autres et que sa production en est complètement modifiée.

FIABILITÉ ET APTITUDE A L'ENTRETIEN

La fiabilité se définit comme étant « la probabilité qu'un ensemble remplisse les fonctions données pendant une durée donnée, les conditions externes étant fixées ». On trouvera *figure 3* les différentes formes de fiabilité rencontrées dans nos industries.

L'aptitude à l'entretien se définit comme étant « la probabilité pour qu'un dispositif, lorsqu'il nécessite une intervention de maintenance correctrice ou préventive, soit remis dans un état de fonctionnement donné, dans des limites de temps spécifiées, lorsque le travail est effectué selon des procédures prescrites et dans des conditions données ».

Ces deux notions probabilistes se traduisent par des valeurs que l'on commence à rencontrer dans la littérature :

— la M.T.B.F. : Moyenne des temps de bons fonctionnements,

— la M.T.P.R. : Moyenne des temps pour réparer.

Ces deux valeurs complémentaires doivent être utilisées pour la mise en place des « systèmes » d'entretien.

CONCLUSIONS

Bien évidemment, l'entretien des installations d'automatismes peut être mis en place suivant des systèmes extrêmement différents et même parfois divergents d'une usine à l'autre ; ces systèmes eux-mêmes doivent être évolutifs dans le temps pour tenir compte des évolutions technologiques du matériel.

La table ronde de l'A.T.S. et l'expérience que nous avons pu obtenir dans nos différentes usines mettent cependant en relief les deux points suivants :

— les mêmes méthodes générales d'entretien utilisées en électromécanique sont transposables aux automatismes ;

— il faut cependant étudier avec soin l'adaptation de ces méthodes aux automatismes pour tenir compte des particularités de ces installations.

discussion

M. PAROISSIEN (Usinor) - Pourriez-vous donner des précisions sur les 5 échelons d'entretien dont vous parlez au chapitre « mise en place d'un système d'entretien » ?

M. SOLAND - Les 5 échelons d'entretien dont il est fait état dans mon exposé correspondent à ceux définis dans un projet de spécification du Comité de Coordination des Télécommunications.

Les échelons peuvent se résumer ainsi :

1er échelon : réglages simples, échanges d'éléments consommables, pas d'outillage ;

2e échelon : échanges standards, contrôles, graissage, outillage simplifié ;

3e échelon : dépannages, réparations par échanges de fonction, étalonnages, entretien préventif, outillage spécialisé ;

4e échelon : réparations en atelier spécialisé, intervention de spécialistes ;

5e échelon : remise à neuf.

M. POUPON (Forges de Gueugnon) - Vous avez souligné l'intérêt d'obtenir des constructeurs un « engagement contractuel » de poursuivre la production d'un appareil. Avez-vous pu obtenir un tel engagement, dans quels cas et dans quelles limites ?

Vous avez souhaité concentrer l'activité de la section d'entretien des installations automatiques en la soulageant des mises au point d'installations neuves. Il nous semble que ces mises au point sont :

— l'occasion à saisir d'un contact efficace avec les spécialistes du constructeur,

— une excellente préparation aux opérations d'entretien ou d'adaptation qui s'imposeront ultérieurement dans l'exploitation de l'installation.

Quelle est exactement votre opinion sur ces points ?

M. SOLAND - La première question concerne les « engagements contractuels » pour la fourniture des pièces de rechange.

En dehors des conditions contenues dans les clauses générales des marchés sidérurgiques, il n'a pas été possible, à ma connaissance, d'obtenir des engagements contractuels comparables à ceux de l'EDF (durée de 10 ans). En tout état de cause, le rythme de changement de fabrication liée à l'évolution technologique, période de 2 à 5 ans, est incompatible avec la durée des équipements sidérurgiques. Il y aurait, dans ce domaine, un travail important à faire à l'ATS.

La seconde question concerne les « mises au point d'installations ».

Je n'ai jamais voulu dire que les mises au point d'installations devaient se faire indépendamment des structures d'entretien.

Ce qu'il faut, c'est que, quand un problème délicat nécessitant de la matière grise se pose dans une installation, on puisse résoudre ce problème sans entraver la bonne marche des équipes d'entretien. Il faut donc renforcer ces équipes par du personnel compétent et disponible, mais qui travaille en liaison étroite avec les responsables d'entretien. C'est le rôle des équipes « mises au point » ou « point chaud » dont il est fait état dans mon exposé.

M. CHARPY (Wendel-Sidelor) - En fonction des installations que vous avez eu à connaître, pouvez-vous nous chiffrer, sur quelques exemples types, quelle est l'influence sur la fiabilité totale du matériel proprement dit, et celle de son installation et de son utilisation (fiabilité d'exploitation) ?

M. SOLAND - Cette question concerne la fiabilité d'exploitation.

Nous manquons actuellement de statistiques permettant de résoudre ce problème et je crois que les constructeurs sont dans la même situation que nous. Nous sommes donc forcés de travailler de façon empirique.

Dans certains cas, nous pouvons profiter d'études faites ailleurs ; c'est le cas par exemple des enregistreurs potentiométriques où une étude faite au CEA permet de déterminer une fiabilité d'exploitation. Nous espérons que les moyens mis en œuvre dans différentes usines, comme ceux décrits par M. Burton, permettront d'améliorer cette situation.

les ordinogrammes

J. P. Schmit
SACILOR (Hagondange)

Communication présentée à la " Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie " organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

En informatique, l'analyste construit un organigramme pour préparer la programmation d'un ordinateur.

Par analogie, il est proposé ici une tentative de méthodologie permettant d'une part, l'élaboration des schémas et la conception de systèmes automatisés (analyses) et, d'autre part, une explication des interactions et contraintes introduites des systèmes réalisés (synthèses). Ce dernier aspect vise à faciliter au maximum les opérations d'entretien.

●

PRÉAMBULE

L'analyse d'un problème conduit à l'énoncé d'un algorithme ou d'une séquence qui décrivent en détail la nature et la succession des opérations à effectuer. Cet énoncé des opérations est rarement formulé par écrit ; par exemple, il est trop souvent fait appel à l'intuition pour le dépannage des installations.

Cette formulation, lorsqu'elle est écrite, s'appelle liste des contraintes, mode d'emploi, notice de fonctionnement, consigne d'exploitation, etc. Cependant, un technicien préfère toujours un dessin simple et clair à un document dactylographié. Nous appellerons un tel dessin représentant cet énoncé un ordinogramme.

Ce mode de description donne une vue synthétique des interactions des différentes commandes qui conditionnent la marche d'une installation tout en leur conservant un aspect dynamique. A ce titre, il rend plus aisées les vérifications de leur énoncé indispensables pour un dépannage.

L'ordinogramme est un instrument de travail universel ; il utilise une symbolisation unique pour représenter un grand ensemble de production ou un tout petit automatisme.

Il est la généralisation à toutes les techniques de l'organigramme des informaticiens.

PRÉSENTATION DES SYMBOLES

Généralités.

Les symboles utilisés pour les ordinogrammes sont ceux définis par la norme AFNOR « NF Z 67 010 » d'avril 1966 dans la rubrique 3 : symboles pour organigrammes de programmation. Tous les autres symboles de cette norme peuvent évidemment être utilisés pour des ordinogrammes à caractères de gestion, mais les traitements qu'ils représentent sont peu fréquents dans les automatismes câblés, et trop importants pour servir aux dépannages de ces ensembles.

Un effort particulier doit être fait par chacun pour respecter au mieux cette liste de symboles non limitative afin de ne pas faire naître dès le début des divergences de langage qui iraient à l'encontre du but premier de cette méthode : son universalité.

Cinq des symboles de cette norme constituent le matériel de base des ordinogrammes. Nous allons les expliciter plus particulièrement.

Début - Fin - Interruption (symbole n° 3.32).

Ce symbole se représente de la façon suivante :

en entrée

S'il est employé au début d'un ordinogramme, il n'a qu'une sortie représentée par une ligne de transfert prolongée par une flèche.

S'il est employé à la fin d'un ordinogramme, il n'a qu'une entrée représentée par une ligne de transfert semblable :

en sortie

Ces lignes de transfert doivent être considérées par exemple comme des conducteurs électriques, des tuyaux d'air comprimé, etc., c'est-à-dire comme des éléments susceptibles de véhiculer sans transformation une information et une seule. Dans l'application des ordinogrammes au dépannage des automatismes câblés séquentiels ou combinatoires que nous considérons ici, ces informations seront du type « tout ou rien ». Ceci n'exclut pas la possibilité d'utiliser ces ordinogrammes à des fins plus générales.

Ce symbole sera utilisé pour toutes les prises d'informations sur un processus. A l'intérieur seront inscrits les états ou changements d'états des « capteurs ».

Exemples : bouton-poussoir n° 4 enfoncé, cellule photo-électrique C2 excitée, etc.

Il peut arriver également que l'automatisme élabore lui-même des « débuts » et « fins » sans que l'état relatif des capteurs qui le gouvernent n'ait simultanément varié. Ce sera le cas par exemple pour un temporisateur. On peut alors utiliser le symbole « début » pour décrire séparément ce qui se passe à partir du moment où cet organe particulier change d'état.

De façon générale, ce symbole sera utilisé pour commencer une description ou la terminer au moment ou à l'endroit où on le juge nécessaire.

Un automatisme peut alors comporter plusieurs ordinogrammes.

Traitement (symbole n° 3.11).

C'est un rectangle qui ne peut avoir qu'une seule entrée et une seule sortie. Elles sont situées respectivement sur les côtés supérieur et inférieur à l'exclusion de toute autre disposition.

A l'intérieur du rectangle est indiquée l'action à réaliser par l'automatisme. Cette action est en général le changement d'état d'un organe. Elle est la conséquence logiquement traitée par l'ordinogramme de l'état ou du changement d'état d'un organe d'entrée.

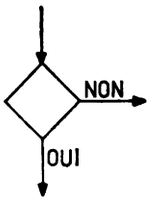
Exemples : fermer le contacteur K 20, mémoire MAV = 1, allumer voyant alarme n° 4, etc.

Embranchement.

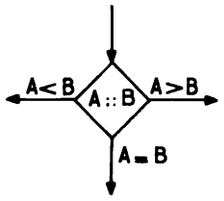
L'état physique d'un processus industriel peut toujours être décomposé à un moment précis en une somme et/ou un produit des états de ses organes élémentaires. De la même manière, mais dans le temps, un système évolue en fonction de l'évolution de ces mêmes organes. Ainsi, il n'appartient pas au hasard de voir une personne se promener dans la rue avec un parapluie alors qu'il fait grand soleil : cet état est le résultat d'une somme de raisonnements logiques élémentaires qui, bien que difficilement saisissables par un tiers (et souvent par la personne elle-même) n'en ont pas moins existé ou existent encore.

La difficulté dans un automatisme réside précisément dans sa décomposition en raisonnements logiques élémentaires mais tout automatisme procède exclusivement de ces raisonnements.

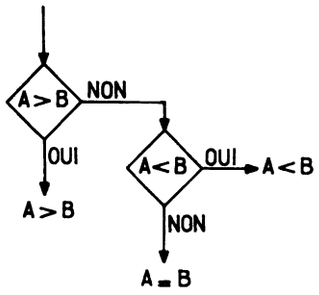
C'est pourquoi nous ne retiendrons comme symbole d'embranchement pour les ordinogrammes que le losange à deux sorties « oui » et « non ».



Par contre, les informaticiens utiliseront volontiers le losange à trois sorties pour comparer deux nombres A et B.



Pour un montage automatique qui ne fait intervenir que des organes élémentaires, nous préférerons la représentation suivante (une parmi d'autres possibles):



La question figurée à l'intérieur du losange doit être posée de telle façon que les réponses soient « oui » ou « non » de façon à éviter des réponses du type : « égal » ou « différent », etc.

La ligne de transfert d'entrée est toujours située sur l'angle supérieur du losange. Les sorties « oui » et « non » peuvent être représentées indifféremment sur les angles de gauche, de droite ou du bas selon les habitudes du dessinateur ou les impératifs de clarté du dessin. Cette latitude laissée à l'utilisateur est très utile pour éviter des croisements de lignes toujours nuisibles à la bonne compréhension d'un schéma.

Renvoi.

Entrée par renvoi

Sortie par renvoi

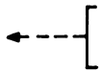
Ce symbole qui contient en général un repère alphanumérique est toujours utilisé deux fois avec le même repère, pour permettre les passages d'un endroit à un autre du schéma ou d'un folio à un autre. Il doit être utilisé de préférence à un croisement de lignes lorsque celui-ci ne peut être évité par une disposition plus judicieuse des éléments constitutifs de l'ordinogramme.

Commentaires.

En marge de l'ordinogramme et pour chacun de ses éléments constitutifs, des renseignements complémentaires peuvent être nécessaires.

Exemples : emplacement géographique de l'organe, limites d'utilisation, types, etc.

On utilisera alors le symbole suivant :



Il sera placé de telle manière qu'il ne puisse gêner la compréhension du schéma.

ASSOCIATION DES SYMBOLES

Définition des états des constituants.

Avant de commencer à associer les symboles que nous venons de décrire, il appartient à chaque utilisateur de définir les états des différents organes qui composent l'automatisme et de n'en pas changer lors de l'établissement de l'ordinogramme. Ces états sont représentés par les figures « 0 » et « 1 ».

Nous dirons par exemple qu'un relais électromagnétique est à l'état « 1 » lorsque sa bobine est excitée. Il n'est dès lors pas nécessaire d'ajouter : et à l'état « 0 » lorsque sa bobine est désexcitée.

De la même manière, une porte ouverte sera dite à l'état « 0 » s'il est vrai qu'une porte ne puisse être qu'ouverte ou fermée, sinon il conviendra de décomposer cette porte en éléments encore plus simples (en établissant une relation entre la porte et la serrure par exemple).

De plus, une définition d'état est essentiellement arbitraire ; nous n'attachons donc aucune importance à son contenu mais insisterons beaucoup pour qu'elle existe.

Il en est de même pour les lignes qui servent de transfert d'information ; leur état « 1 » ou « 0 » sera défini par la présence ou l'absence de pression de gaz, de tension électrique, etc.

Exemple : un fin de course électrique baptisé FCB4 donne son renseignement à un ensemble automatisé. La séquence de traitement commence alors par le symbole vu au paragraphe « Début - Fin - Interruption ».

Si FCB4 = 0 signifie par définition « fin de course au repos » et si de la même façon l'état « 1 » de la ligne de transfert d'information a été préalablement et arbitrairement défini par la présence de tension électrique, il est certain que le contact du fin de course à utiliser est un contact à ouverture pour obtenir un état « 1 » sur la ligne.

En effet, le fait de marquer FCB4 = 0 à l'intérieur du symbole de « début » signifie qu'on a l'intention d'exploiter le fin de course lorsqu'il est au repos. Cela n'implique pas, bien entendu, qu'on ne puisse l'utiliser par ailleurs lorsqu'il est au travail, mais la séquence que nous débutons ne pourra être sensibilisée (on ne pourra avoir une tension sur la ligne) que lorsqu'un contact à ouverture du fin de course sera fermé.

Nous aboutirions à un résultat opposé si en conservant la même définition pour FCB4 nous avions marqué FCB4 = 1 dans le symbole de « début ».

Cette explication peut paraître évidente, mais il est très important de remarquer que seuls nous intéressent dans les ordinogrammes les états des organes qui composent l'installation.

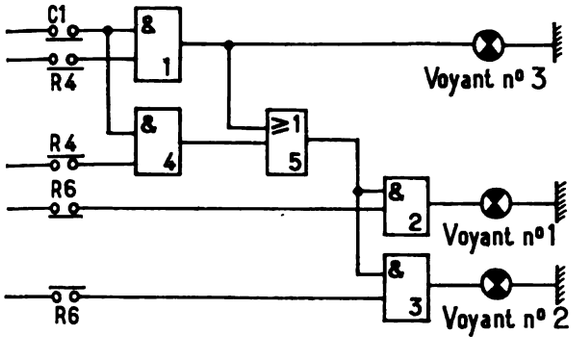
Exemple : Qu'un moteur tourne en marche avant ou en marche arrière n'est pas essentiel pour un ordinogramme ; l'important c'est qu'il tourne. En effet, prenons un moteur à deux bouts d'arbre et branchons-le sur le secteur : il tourne dans un sens ; retournons-le de 180° sans le débrancher : le bout d'arbre qui nous fait face tourne dans l'autre sens, et nous n'avons rien changé à sa commande. Le sens de rotation d'un moteur doit donc faire l'objet d'une autre définition.

Qu'on utilise un contact à ouverture ou à fermeture d'un relais n'est pas essentiel, l'important dans un ordinogramme est de savoir si la bobine de ce relais est excitée ou désexcitée.

Nous verrons plus loin comment faire apparaître, à partir de l'état d'un organe, la dualité éventuelle d'utilisation de cet état de façon à supprimer toute réflexion de la part d'un dépanneur.

Equivalents câblés des symboles d'ordinogrammes.

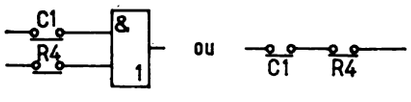
En tenant compte des définitions de symboles établies plus haut des règles d'association et des con-



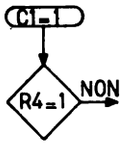
Explications :

Le fait d'écrire :

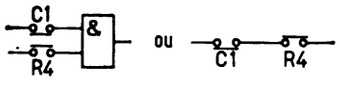
signifie que si C1 est excitée et simultanément R4 excité on va faire quelque chose, cette condition se matérialise par une fonction « et » entre ces deux éléments. Cette condition est réalisée par la « boite noire » n° 1 de notre logigramme. Elle pourrait être réalisée de la même façon par la mise en série de deux contacts à fermeture de C1 et R4.



Par contre, la condition :



se représente par :



Une fonction « ou » se matérialise par une boite noire du type 5 avec le graphisme des logigrammes et par la mise en parallèle de deux contacts avec le symbolisme utilisé pour l'établissement des schémas développés électriques.

Dans un ordinogramme cette même fonction « ou » ne nécessite pas de symbole particulier ; elle est simplement réalisée par l'intersection de deux lignes de transfert.

Cette intersection a été figurée par un petit cercle en pointillé sur l'ordinogramme de départ. Nous voyons apparaitre ici la justification des flèches de l'ordinogramme, qui, présentes sur une intersection réalisent une connexion effective mais absentes de cette intersection indiquent qu'il n'y a aucune relation logique entre ces deux lignes. Ce dernier type de croisement doit alors être évité au maximum pour ne pas donner naissance à des confusions.

Si on ajoute la possibilité d'inversion réalisée sur les ordinogrammes par le changement pur et simple d'une des valeurs d'état indiqué dans les symboles, nous sommes en présence d'un ensemble qui permet de réaliser les fonctions « et », « ou », ——. Nous pouvons alors affirmer qu'il existe obligatoirement un ordinogramme pour tout ensemble de logique câblée imaginable.

Nous pouvons souligner ici qu'à partir d'un ordinogramme il est possible de réaliser une séquence en employant plusieurs technologies sans que le document initial en soit affecté.

Le schéma développé de l'automatisme ne joue plus son rôle « explicatif » mais devient un document de câblage sans aucune prétention puisqu'il est le reflet fidèle d'un document qui figure de façon beaucoup plus explicite la motivation des organes constitutifs.

Enfin, il est très aisé de retrouver l'équation booleienne d'un récepteur à partir d'un ordinogramme. Dans notre exemple, l'équation du voyant n° 2 s'écrit en suivant tous les chemins qui, à partir du symbole début, aboutissent au récepteur et en ne tenant compte que des symboles début, intersection logique et embranchement :

$$\text{Voyant n° 2} = C1\ R4\ \overline{R6} + C1\ \overline{R4}\ \overline{R6}$$

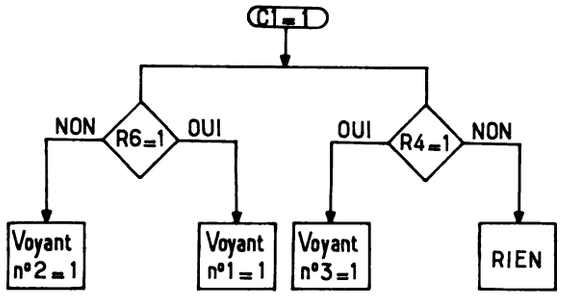
Cette équation peut et doit être réduite pour fournir :

$$\text{Voyant n° 2} = C1\ \overline{R6}$$

$$\text{Voyant n° 3} = C1\ R4$$

$$\text{Voyant n° 1} = C1\ R6$$

Si bien que l'ordinogramme devient à partir de ces équations :



Les nouveaux schémas développés selon la technologie choisie en découlent.

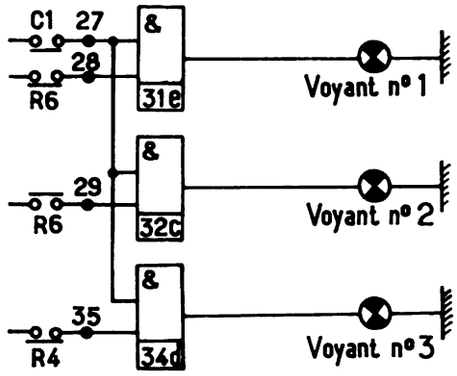
L'utilisation des ordinogrammes ne supprime pas la réflexion au moment de la conception.

Remarque :

Comme nous les avons définis plus haut, les symboles d'ordinogrammes ont toujours un nombre de sorties imposé.

L'information « rien » qui figure dans notre exemple signifie d'une part que la sortie « non » de l'embranchement R4 = 1 n'a volontairement pas été utilisée (pas câblée), d'autre part et surtout que cette possibilité n'a pas été oubliée lors de la conception. De ce fait, le simple examen visuel d'un ordinogramme terminé nous renseigne sur les oublis et aléas de fonctionnement éventuels.

Nous donnons un exemple simple (pesage sur un blooming) qui permet de se familiariser avec cette technique, tout en faisant la liaison avec les schémas conventionnels (fig. 1 à 5).



Nous avons vu l'ordinogramme en tant que m thode de conception, que faut-il y ajouter pour en fa un outil d'exploitation ?

UTILISATION DES ORDINOGRAMMES A DES FINS DE DÉPANNAGES

Tels qu'ils sont actuellement représentés, les or nogrammes ne peuvent servir au dépannage d'u installation car il leur manque les repères de fils d'emplacements géographiques. En effet, ces derni permettraient de revenir à ces ordinogrammes à pa du logigramme ou du schéma développé.

Reprenons notre exemple précédent et établisso le schéma développé et logigramme.

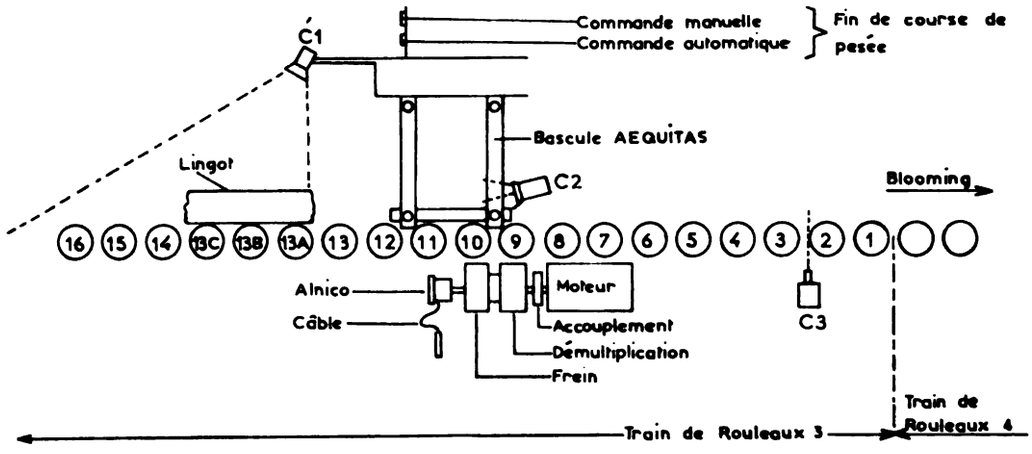
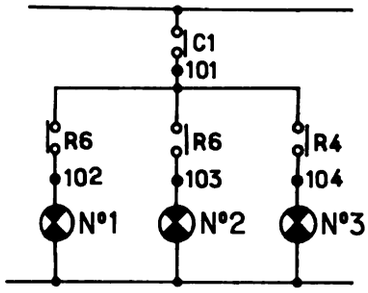


Figure 1.

C1 : Cellule TE12T (Pfister)
C2 : Cellule DC 401 A (Pfister)
C3 : Cellule DC 401 A (Pfister)
C2 : voit dans le même sens que C3.

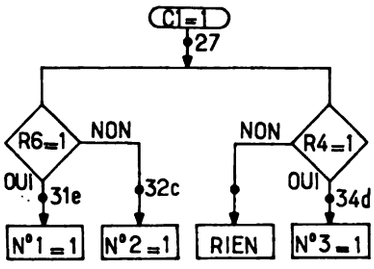
ou :



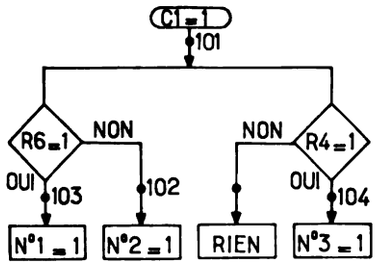
Notre propos n'est pas ici de savoir lequel de ces deux schémas serait le plus facile à mettre en œuvre ni même de savoir lequel est le plus astucieux, mais, dans la mesure où l'une ou l'autre de ces formes est réalisée, les boites noires pour la forme n° 1 ou les fils pour la forme n° 2 sont toujours repérés d'une manière ou d'une autre. Nous avons choisi ici un repérage géographique orthonormé et alphanumérique pour les boites noires de la forme n° 1 et un repérage numérique pour la forme n° 2.

Il est alors possible de reporter ces indices sur l'ordinogramme pour réaliser la concordance entre les schémas et permettre l'utilisation des ordinogrammes comme instrument de dépannage.

Pour la forme n° 1 nous obtenons :



et pour la forme n° 2 :



Par convention, seuls les numéros des bornes ou des fils d'entrée ou de sortie du montage doivent figurer sur les lignes de transfert ainsi que les sorties des boites noires. Toutes les autres indications que l'on peut juger nécessaires doivent figurer à l'intérieur des symboles ou en marge en utilisant le symbole de commentaire.

Dans notre exemple, l'ordinogramme devient un schéma plus compliqué que le schéma développé correspondant. Il en est ainsi pour toutes les applications simples qui peuvent très bien se passer de ce nouveau mode de représentation. Il n'en va plus de même lorsqu'il s'agit d'un ensemble plus complexe qui nécessite plusieurs ordinogrammes.

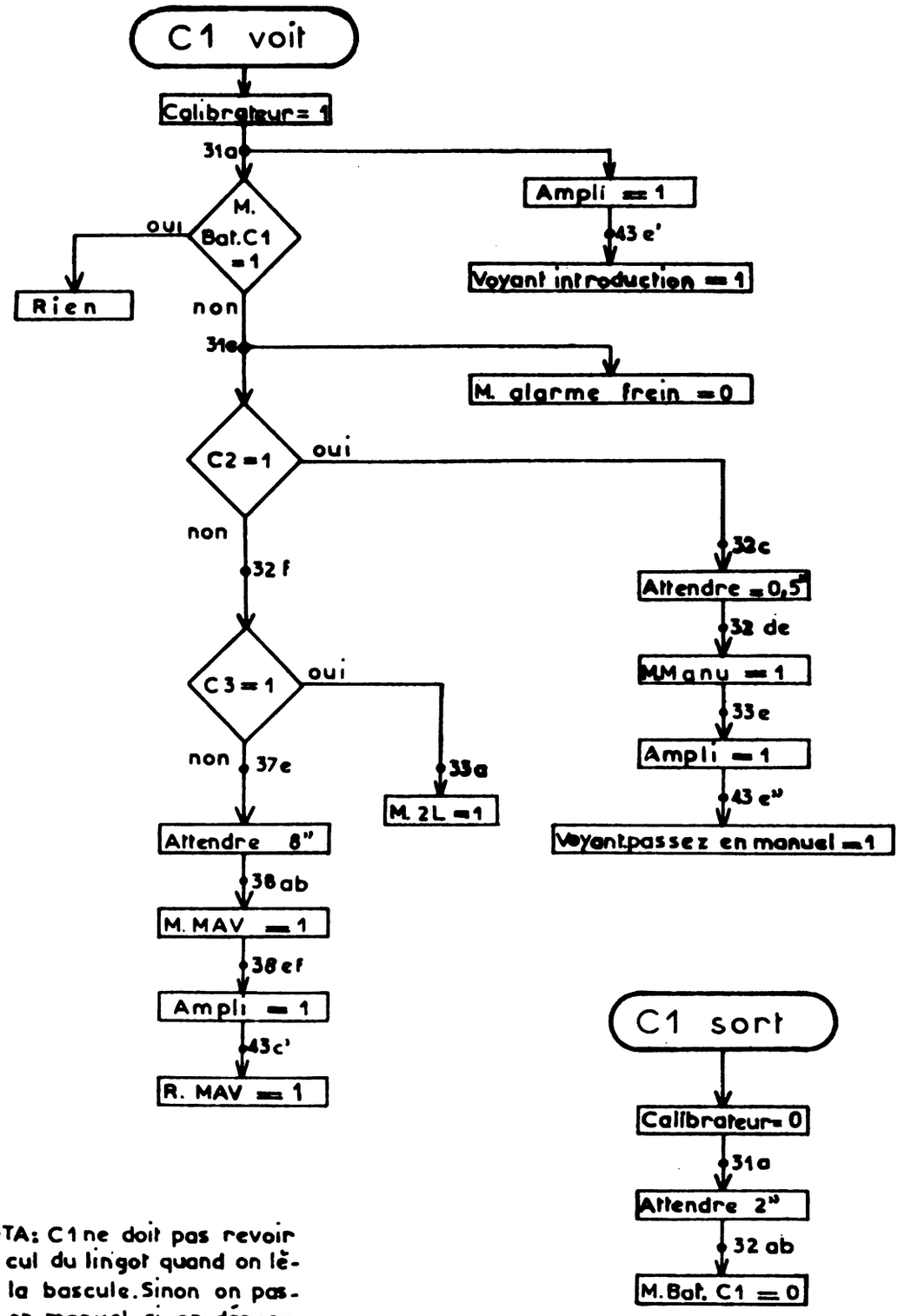
Pour la forme n° 1, nous pouvons remarquer que les bornes 29, 28 et 35 n'apparaissent pas sur l'ordinogramme. Elles ne sont pas directement nécessaires à la localisation d'un défaut éventuel. Supposons en effet qu'au moment où C1 devrait être excitée (ce moment est lui-même parfaitement défini par l'observation pure et simple du processus industriel), aucun voyant ne s'allume. Cette situation est anormale car sur l'ordinogramme correspondant à la forme n° 1, l'un ou l'autre des voyants 1 et 2 au moins doit s'allumer. Plaçons un voltmètre au point 31 e : s'il y a présence de tension à cet endroit lorsque C1 est occultée, le voyant n° 2 devrait s'allumer ; la panne est soit dans la liaison, soit dans l'ampoule du voyant. S'il n'y a pas de tension en 31 e, plaçons le voltmètre en 37 c, etc. On définira ainsi de proche en proche lequel des organes constitutifs ou laquelle des liaisons qui y aboutissent est en cause sans qu'il soit nécessaire d'aller tester les points 28, 29 ou 35, à moins que l'on désire confirmer par un test effectif ce qui a été logiquement déduit de la suite des tests précédents.

Généralisation : méthode de dépannage.

Une panne se manifeste, au personnel chargé de l'exploitation et à celui chargé de l'entretien, par un mauvais fonctionnement du processus automatisé. Ce mauvais fonctionnement est parfaitement visible et peut se traduire par la formule : « dans telle situation le processus réagit de telle façon ».

Telle situation :

Parfaitement visible doit permettre le choix de l'ordinogramme concerné. Si autrefois on ne possédait en général qu'un seul schéma développé de l'automatisme considéré, maintenant chaque changement d'état d'un des capteurs qui gouverne cet automatisme est concerné par un ordinogramme particulier. Ce choix est déjà fait implicitement, bien qu'à un autre niveau, par un dépanneur qui ne va pas chercher le schéma développé d'un automatisme sur haut fourneau quand la panne se manifeste aux laminoirs.



NOTA: C1 ne doit pas revoir le cul du lingot quand on lève la bascule. Sinon on passe en manuel si on dépose un 2e lingot sous C1 à ce moment là.

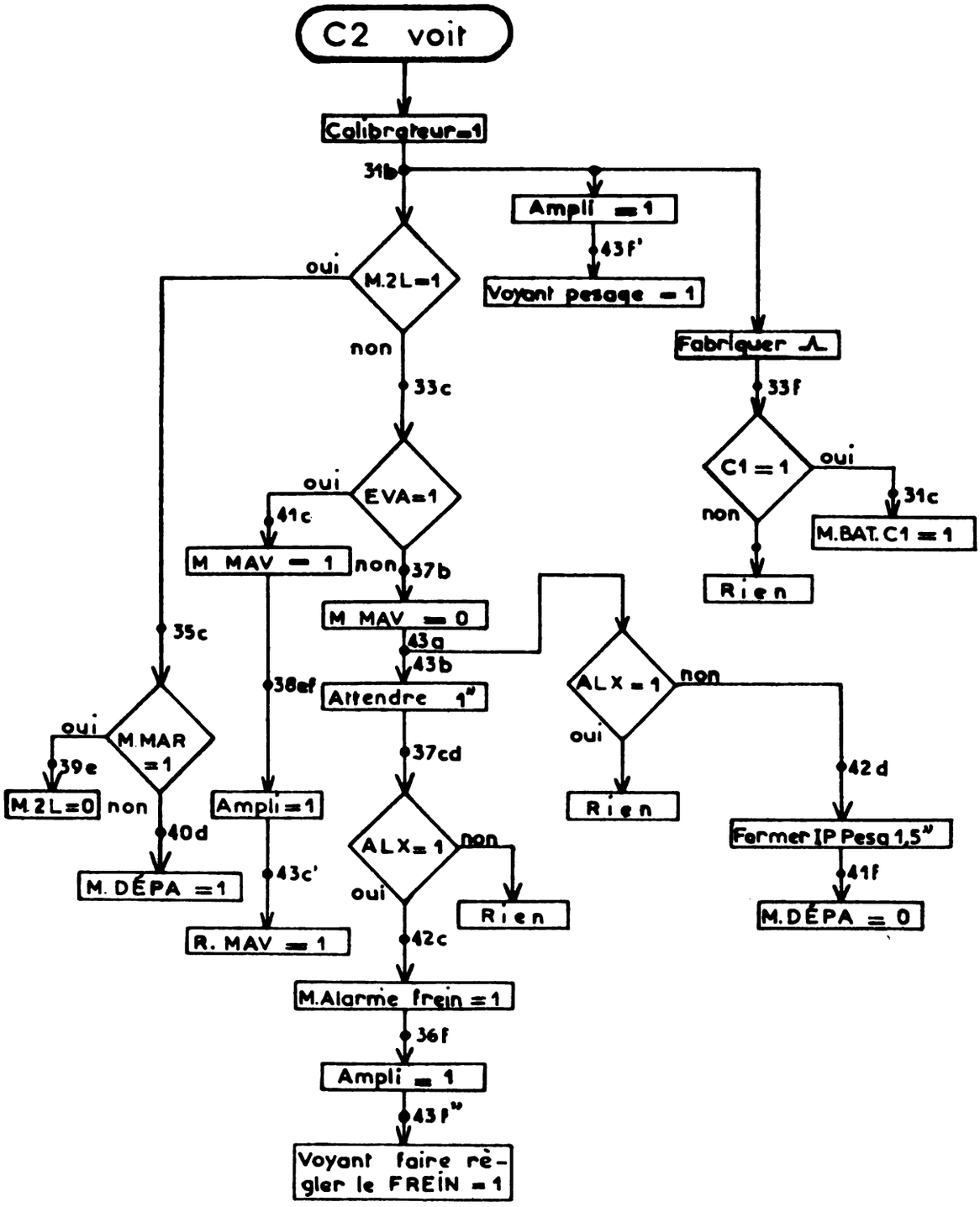
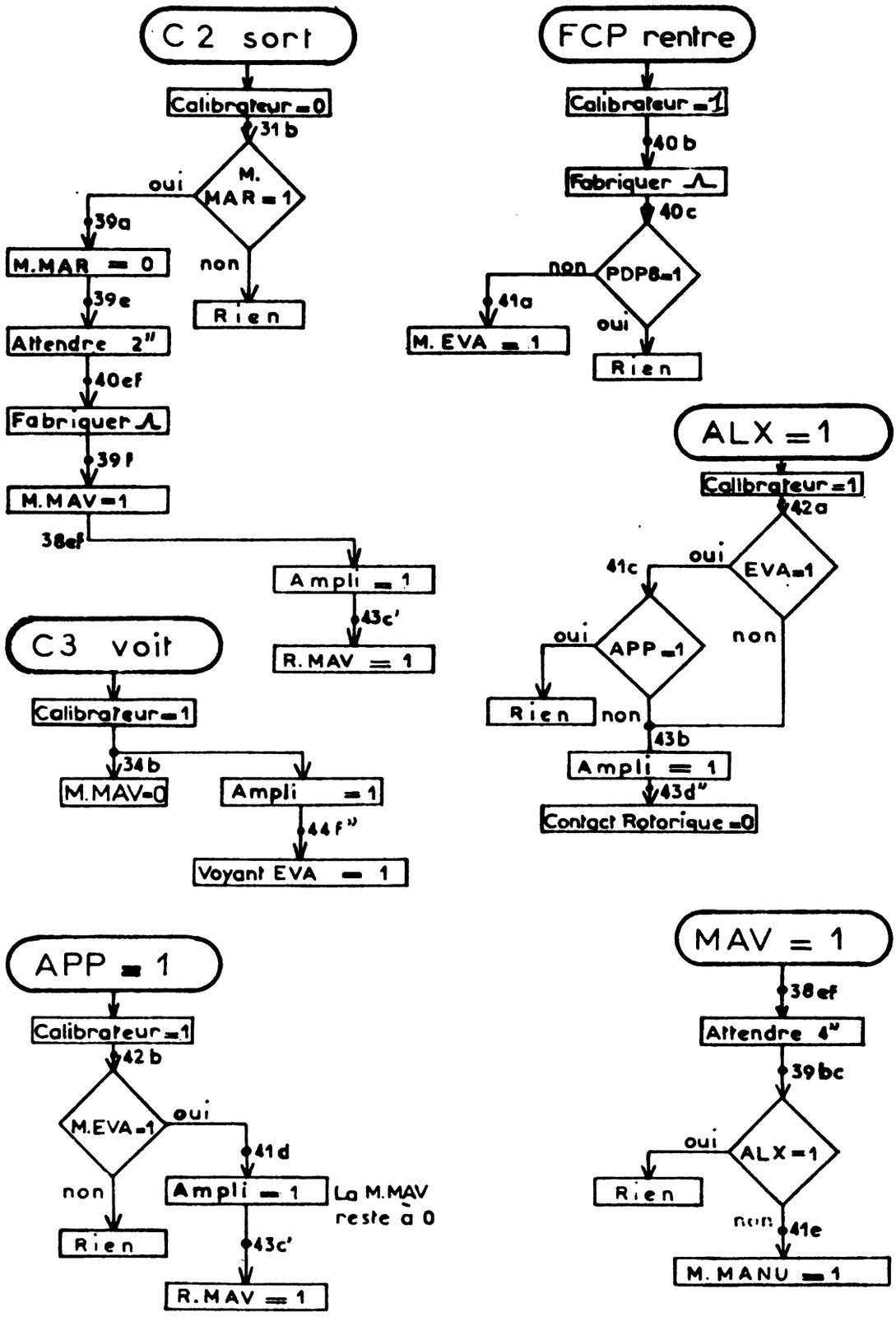

C2 voit
Calibrateur=1
31b
Ampli =1
43f'
Voyant pesage = 1
oui
M.2L=1
non
Fabriquer
33c
33f
C1 = 1
oui
31c
M.BAT. C1 = 1
non
Rien
oui
EVA=1
41c
M MAV = 1
non
37b
M MAV = 0
43a
43b
Attendre 1"
35c
38ef
ALX = 1
non
oui
Rien
42d
Fermer IP Pesa 1,5"
41f
M.DÉPA = 0
oui
M.MAR =1
39e
M.2L=0
non
40d
M. DÉPA =1
Ampli=1
43c'
R. MAV = 1
37cd
ALX= 1
non
oui
Rien
42c
M.Alarme frein =1
36f
Ampli = 1
43f"
Voyant faire régler le FREIN =1

Figure 3.


C 2 sort
Calibrateur = 0
31 b
M. MAR = 1
oui
non
39a
M.MAR = 0
39e
Rien
Attendre 2"
40ef
Fabriquer Λ
39 f
M.MAV = 1
38ef
Ampli = 1
43c'
R.MAV = 1
FCP rentre
Calibrateur = 1
40 b
Fabriquer Λ
40c
PDP8 = 1
non
oui
41a
M. EVA = 1
Rien
ALX = 1
Calibrateur = 1
42a
EVA = 1
oui
non
41c
APP = 1
oui
non
Rien
43b
Ampli = 1
43d"
Contact Rotorique = 0
C3 voit
Calibrateur = 1
34b
M.MAV = 0
Ampli = 1
44 f"
Voyant EVA = 1
APP = 1
Calibrateur = 1
42 b
M.EVA = 1
oui
non
41d
Ampli = 1
La M.MAV reste à 0
Rien
43c'
R.MAV = 1
MAV = 1
38ef
Attendre 4"
39bc
ALX = 1
oui
non
Rien
41e
M. MANU = 1

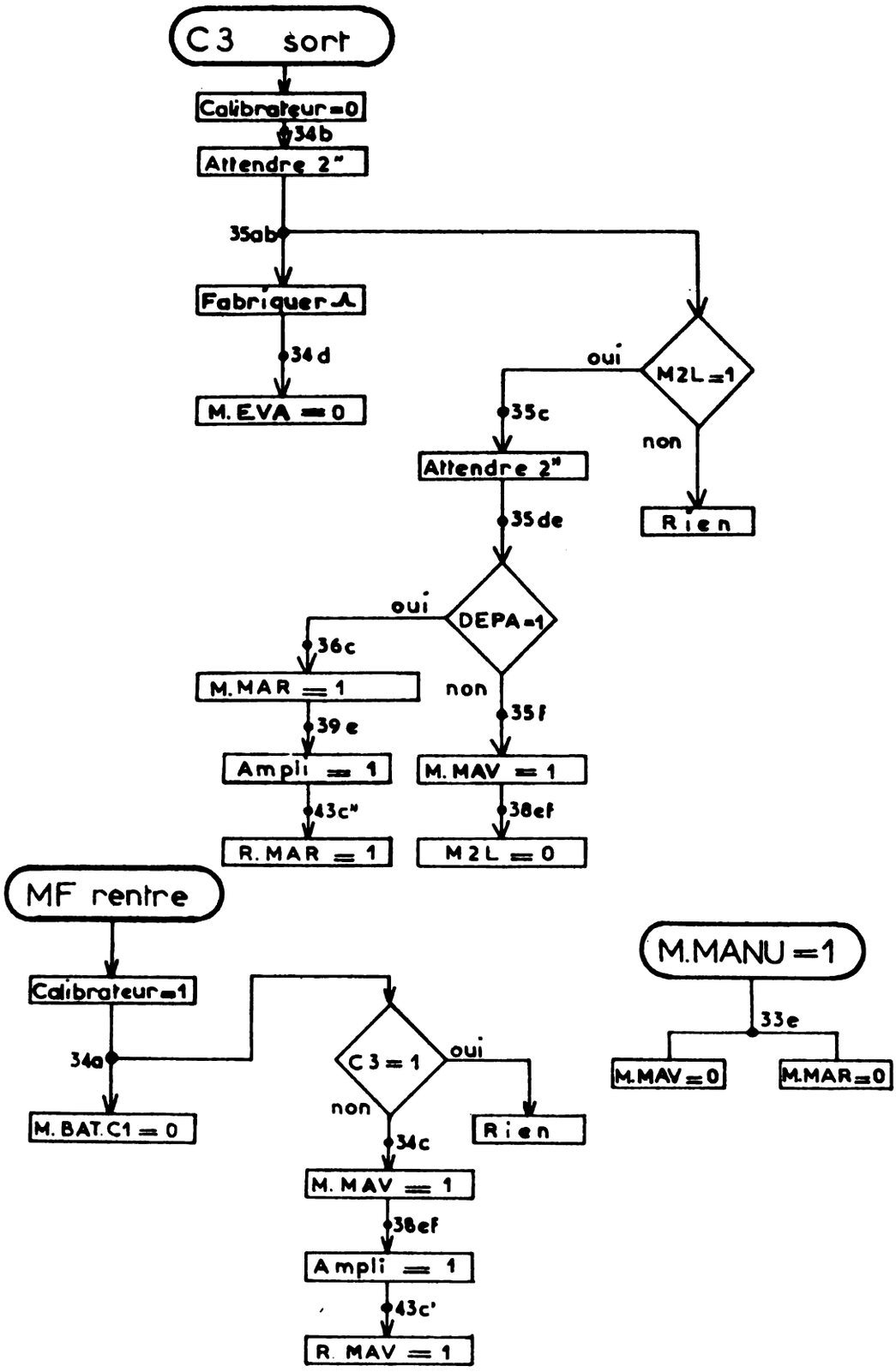

C3 sort
Calibrateur=0
34b
Attendre 2"
35ab
Fabriquer A
34d
M.EVA = 0
oui
M2L=1
non
35c
Attendre 2"
35de
Rien
oui
DEPA=1
36c
M.MAR = 1
non
35f
39e
Ampli = 1
M.MAV = 1
43c"
38ef
R.MAR = 1
M2L = 0
MF rentre
Calibrateur=1
34a
M.BAT.C1 = 0
C3 = 1
oui
non
Rien
34c
M.MAV = 1
38ef
Ampli = 1
43c'
R.MAV = 1
M.MANU =1
33e
M.MAV=0
M.MAR=0

Figure 5.

Telle façon :

Elle est obligatoirement incorrecte sinon le dépanneur n'aurait pas été dérangé.

Un des organes de sortie de l'ordinogramme choisi ne fonctionne pas ou n'est pas ou mal commandé : il suffit alors de vérifier tous les points repérés sur l'ordinogramme à partir de cet organe de sortie en remontant jusqu'au symbole début de cet ordinogramme. Les chemins ainsi à parcourir peuvent être nombreux, ils seront testés l'un après l'autre.

Pour faciliter cette recherche, et en ce qui concerne les automatismes électriques ou électroniques, il est aisé de construire un boîtier test composé d'une dizaine de voyants lumineux possédant un point commun mais pouvant tous être attaqués séparément.

Ainsi le dépanneur placera successivement ses cordons de voyant sur les points test indiqués par l'ordinogramme (sans réfléchir) en commençant par la fin et en respectant leur ordre. Lorsque la situation anormale se produira sur le processus l'endroit de la panne sera localisé. Il s'agira de l'organe qui précède la première lampe éteinte du boîtier test.

Nous n'insisterons pas davantage sur cette méthode laissant à chacun le soin de l'expérimenter.

CONCLUSION

Il est juste de préciser que si des expériences de dépannage nombreuses ont été couronnées de succès et ont permis des remises en état très rapides, elles ont fait apparaître la nécessité d'établir des ordinogrammes simples et clairs qui n'ont pas été obtenus du premier coup. D'autre part, il importe que le schéma développé soit le reflet fidèle de l'ordinogramme, c'est-à-dire que toute modification de câblage entraînera obligatoirement une transformation sur l'un ou l'autre des ordinogrammes de l'installation.

Cette nouvelle technique est facilement assimilée par des techniciens et même des ouvriers professionnels ; elle doit néanmoins faire l'objet d'une formation pour éviter des interprétations erronées.

Des dessinateurs peu avertis n'ont éprouvé aucune difficulté à transcrire un ordinogramme en schéma développé ; par contre le travail inverse est beaucoup plus délicat car, pour « disséquer » un schéma développé existant en plusieurs parties, il convient de retrouver au préalable les idées directrices qui ont servi à sa conception, celles-ci n'apparaissent pas toujours clairement sur un schéma développé.

Rapp
organe e
celui pa

De c
pas de r
un fil éle
Les ordi
sion, do
recherch

Outre
on peut
exemple,
des inst

a) En ef
mas
bles
gés
utilise

Il
qui u
dans
tives
dont

L'
gage
tendu
respe
une i

b) L'ordi
cation
qui c
Il ne
il ne f

c) L'ordi
repré
telle
forma
n'en

d) L'ordi
tation
cabin
tion,
autan
perme
un m
machi

De
sionn

Ainsi
aussi bie
les instal
toute tec

méthodes de chemin critique : étude comparative

R. Sadeler
ARBED (Differdange)

Communication présentée à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

INTRODUCTION

Dans le cadre de la technique de la recherche opérationnelle, une branche particulière a pris une extension considérable : la méthode du chemin critique.

Sa grande diffusion est conditionnée par la facilité relative de son application et les résultats positifs qu'elle fournit. Des comparaisons établies entre planning avec le système classique Gantt et les méthodes modernes de chemin critique font apparaitre un bénéfice-temps compris entre 10 et 20 %.

Il est dès lors normal que le concept, en soi bien établi, du chemin critique ait donné naissance à un nombre impressionnant de variantes d'application (on en cite une bonne cinquantaine).

Essayons de déterminer les particularités de quelques-unes des méthodes les plus connues :

CPM : Critical Path Method

PERT : Program Evaluation and Review Techn.

MPM : Metra Potential Method

PDM : Precedence Diagramming Method

HMN : Hamburger Methode der Netzplantechnik

PPS : Projekt-Planungs- und Steuerungssystem.

CARACTÉRISTIQUES DES SYSTÈMES

Il y a cinq caractéristiques inhérentes aux divers systèmes :

— le modèle,

— l'orientation,

— la représentation,

— la relation,

— le système des écarts.

Devant la multiplicité des combinaisons possibles de ces facteurs, référons-nous à la *figure 1* qui fait apparaitre deux grandes branches :

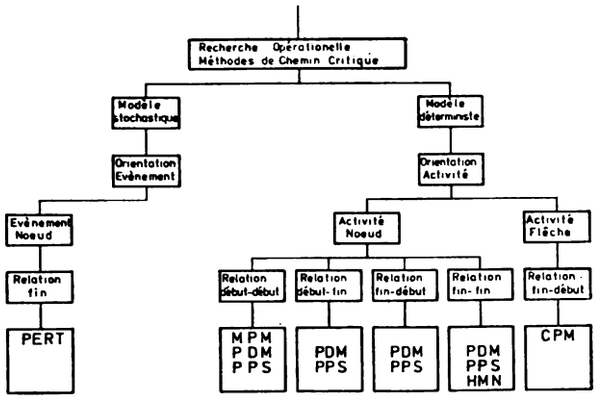


Figure 1.

— celle du modèle stochastique orienté vers l'événement,

— celle du modèle déterministe orienté vers l'activité.

Le choix que nous y apportons est un premier pas décisif qui conditionne la forme définitive du schéma.

Le graphe qui est l'élément de base des méthodes de chemin critique est constitué de deux éléments : le nœud et la flèche, le message c'est-à-dire l'activité ou, selon le cas, l'événement pourra être enregistré, soit sur l'un, soit sur l'autre de ces supports.

Nous remarquons de suite que c'est la représentation « Activité-Nœud » qui offre la plus grande variété dans le domaine des relations qui constituent les liaisons entre les activités successives.

C'est à partir de la définition de la relation que les diverses méthodes de chemin critique apparaissent sous leur dénomination concrète. Que remarquons-nous ?

La méthode PERT fait cavalier seul : son orientation-événement avec des nœuds qui désignent le moment auquel plusieurs tâches simultanées sont terminées respectivement peuvent démarrer et son unique relation de fin en font un outil assez rigide.

Viennent ensuite dans la branche de l'activité-nœud deux grands groupes : celui dont les activités sont notées par le début (MPM) ou la fin (HMN) de l'opération, ou bien ceux dont l'activité est marquée par sa durée et qui permettent par conséquent toutes les combinaisons entre début et fin ; il s'agit en l'occurrence des méthodes PDM et PPS.

La méthode CPM, avec son activité sur la flèche et ses nœuds constituant des événements, opère donc nécessairement entre une fin (l'événement) et un début (celui de l'activité).

ues, des représentations purement matricielles été élaborées. Quelques théorèmes, peu nomux, sont à la base des méthodes de réseaux conduisent à quelques principes d'application ez simples :

aractère mathématiquement transitif des relaions d'antériorité (i < j, j < k = > i < k),

étermination du rang des nœuds pour les représentations matricielles,

alcul de probabilité statistique de la méthode ERT, fort critiqué et critiquable, etc.

narquons pour terminer que les méthodes MPM, HMN et PPS se réclament de plus de la théorie tentiels ; sans vouloir entrer dans les détails, ns que ces méthodes constituent le schéma lisé, les autres méthodes représentant des cas liers.

aboration graphique des réseaux est traitée tude de cas dans la communication ci-après ; ous bornerons donc à présenter les modèles ques des réseaux à nœuds-événements et à -tâches (fig. 3).

ntionnons cependant que plus le nombre des s et des contraintes devient élevé, plus le d'erreur dans les calculs — en tout cas pour culs à la main — devient élevé ; les méthodes HMN et PPS sont particulièrement vulnérables point, si on désire tirer avantage de toutes ossibilités.

autre point mérite d'être signalé : la facilité rrections.

effet, il arrive assez fréquemment que, lors des ou lors du déroulement des activités, des pendances nouvelles et non considérées telles apparaissent ; il s'agit dès lors de

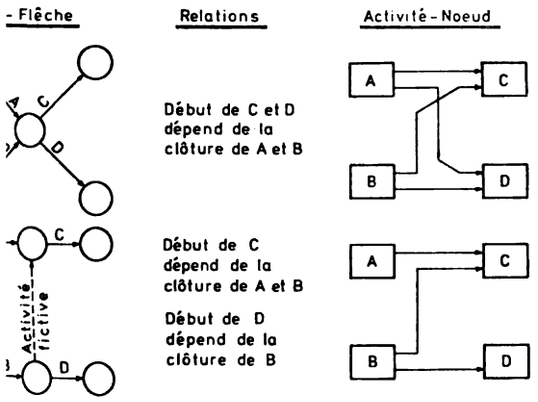


Figure 3.

TABLEAU I : Projet de construction.

Code de la tâche	Activité (tâche) MPM, HMN, PDM	Durée (en semaines)	Tâche précédente
A	Travaux de maçonnerie	7	—
B	Charpente de la toiture	3	A
C	Toiture	1	B
D	Installations sanitaire et électrique	8	A
E	Façade	2	D, C
F	Fenêtres	1	D, C
G	Aménagement du jardin	1	D, C
H	Travaux de plafonnage	3	F
J	Mise en peinture	2	H
K	Emménagement	1	E, G, J
S	Activité fictive	0	

pouvoir les introduire sans culbuter tout le travail déjà effectué.

C'est sur ce point particulier que les méthodes MPM, PDM, HMN et PPS (réseaux à nœuds-activités) font preuve d'une flexibilité très supérieure à celle de CPM et PERT (réseaux à flèche-activités).

Prenons un exemple (tabl. I) :

Les tâches A, B, C, D sont interconnectées de telle façon que A et B doivent être achevées avant que C et D puissent démarrer.

Remarquons en passant que la représentation du type CPM (activité flèche) a besoin d'un « événement-intercalaire » pour répondre aux contraintes exprimées dans la donnée de l'exemple choisi.

Si nous admettons maintenant que les contraintes doivent être modifiées de sorte que le début de D ne dépende plus que de B, les graphes du genre CPM font apparaître la nécessité de dissolution d'un nœud avec apparition d'un élément intercalaire supplémentaire et d'une tâche fictive. La représentation MPM (et ses analogues) accepte l'effacement pur et simple de la contrainte devenue superflue.

Parallèlement aux caractéristiques internes, signalons brièvement les caractéristiques que, par extension d'idées, nous appellerons externes : les liaisons avec l'ordinateur.

Les performances d'une méthode dépendent en effet largement des capacités et des raffinements du programme sur ordinateur ; ainsi par exemple la mé-

thode PERT, qui connait en principe la seule relation de simple antériorité (un événement doit être terminé avant que commence le suivant) et ignore la notion de marge, permet par voie d'ordinateur de dégager les marges de départ et de fin.

Devant le grand nombre des variantes du software, la préférence pour l'un ou l'autre programme dépendra entre autres des conditions locales (unité centrale, extension mémoires, etc.) ainsi que des habitudes des programmeurs, plus orientés vers des langages-problème (COBOL ou FORTRAN) ou bien des langages-machine (ASSEMBLER).

DOMAINES PRÉFÉRENTIELS D'APPLICATION

De même que pour toute autre transmission d'information, il importe également ici que la forme des résultats d'études de réseau soit adaptée à l'utilisateur concerné. Dans un découpage grossier, essayons donc de subdiviser les niveaux d'utilisation de la façon suivante :

— étude générale et programmation d'un projet,

— exécution et coordination des travaux,

— surveillance,

— gestion globale au niveau du maître d'œuvre (évolution technique, commerciale et financière).

Examinons sommairement les besoins des divers utilisateurs.

Niveau d'étude et de programmation.

Pour les grands projets d'études, qu'ils soient purement techniques, technico-économiques, commerciaux ou scientifiques, on dispose en général de peu d'informations en provenance de cas vécus. Les projets englobent souvent un nombre appréciable de sous-projets indépendants qu'il y a lieu d'imbriquer dans un plan d'ensemble. La date de réalisation d'un sous-projet (lire événement) constitue dans ces circonstances l'information la plus utile.

Le manque de données précises fait apparaître d'autre part la nécessité d'évaluations probabilistes sur les durées : cette procédure sous-entend évidemment la présence de populations suffisantes pour aboutir sur le plan global à des valeurs significatives.

La méthode PERT répond aux préoccupations précitées.

Niveau d'exécution et de coordination.

Qui dit exécution, dit « tâches » plutôt qu' « événements ». Le responsable de l'exécution d'un projet

La réponse devient d'autant plus difficile que la pureté de la méthode initiale a parfois subi l'influence de phénomènes extérieurs donnant naissance à des méthodes hybrides, plus ou moins bien adaptées à des cas particuliers.

Lors de l'application de l'une ou de l'autre méthode, il importe de considérer le tandem méthode + programme sur ordinateur ; c'est l'efficacité combinée des deux qui conditionnera la valeur du résultat.

En résumé :

PERT :

Sans parler des objections relatives à la théorie de la méthode PERT, elle ne constitue qu'un cas particulier de la méthode des potentiels par son utilisation de potentiels intermédiaires plutôt que de différences de potentiels et manque de ce fait souvent de caractère univoque. La mise en application réclame donc parfois l'introduction de tâches fictives qui alourdissent le graphe, rendent plus difficile sa lecture et compliquent singulièrement les corrections éventuelles, sans parler du danger plus grand d'erreurs de calcul.

Son orientation à événements risque d'autre part de fournir moins d'informations qu'un réseau orienté vers les tâches, puisque le nombre de tâches d'un projet est normalement supérieur au nombre d'événements.

L'introduction du calcul statistique, fort controversée, a d'ailleurs subi la critique de la US Navy elle-même, qui écrit :

« This concept (pessimistic time) is not as sharp as we would like... ».

Il est douteux que le calcul statistique du temps produise des valeurs plus précises que la simple estimation basée sur la connaissance des phénomènes et le bon sens ; on pourrait toutefois lui accorder le crédit d'information supplémentaire en ce qui concerne la probabilité.

La méthode PERT répond donc à une préoccupation de coordination et de surveillance au niveau du maître d'œuvre ; elle est moins appropriée pour la réalisation des travaux.

CPM :

Son orientation à activité et sa faculté d'utiliser certaines contraintes — début au plus tôt après une certaine date ou après clôture d'une autre activité — lui ouvrent le chemin vers les projets industriels courants. L'utilisation par endroits d'activités fictives doit être considérée comme un désavantage. L'impossibilité de représenter des chevauchements conduit à une subdivision exagérée des tâches et rend le graphe plus complexe et de ce fait plus difficile à lire. Il faut donc exclure cette méthode pour des travaux à avan-

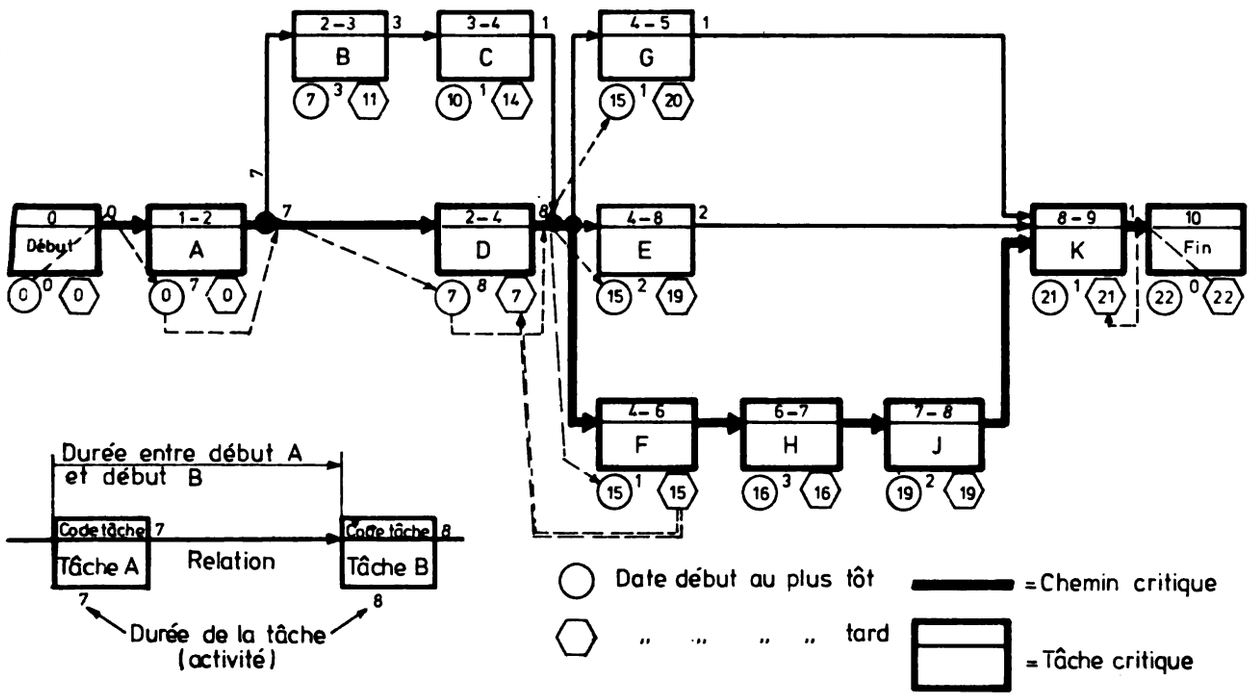


Figure 4. — Graphe des activités méthode MPM (Metra Potential Method). Relation début-début.

cements progressifs ou à éléments répétitifs avec chevauchement. Notons à l'avantage de la méthode CPM sa simplicité relative, conditionnée par le niveau plus réduit des informations disponibles.

PDM :

Son orientation vers la tâche, groupée dans les nœuds à représentation circulaire, lui confère en principe les avantages des méthodes de potentiel. Sa faculté de considérer des chevauchements apparaît d'ailleurs déjà dans la représentation graphique : les cases des tâches disposent d'un embryon d'échelle-temps — le bord gauche correspond au début d'activité et le bord droit à sa fin — le délai de couplage entre tâches en est l'expression algébrique. Cette méthode est par conséquent particulièrement indiquée pour les travaux à avancements progressifs voire répétitifs, c'est-à-dire le génie civil et les ouvrages d'art.

MPM (fig. 4) :

Cette méthode, qui ferait dans sa rigueur honneur à Descartes, se caractérise par sa tournure plus générale et par le fait qu'elle évite les écarts négatifs entre tâches. L'absence d'activités fictives et la facilité de corrections *a posteriori* en font un instrument des plus valables pour les cas d'application et les niveaux d'utilisation les plus divers. En contrepartie, l'élaboration, si elle veut tirer parti de tous les avantages, devient plus laborieuse : on utilise d'ailleurs souvent deux jeux de cartes mécanographiques, un pour les tâches et un autre pour les relations entre tâches.

Comme la méthode MPM repose d'autre part sur un tableau ou une représentation matricielle claire et non ambiguë, la mise sur ordinateur sera assez aisée.

HMN :

Née à Hambourg, cette méthode a été conçue pour les chantiers navals. Sa base à potentiels et son orientation à activités lui confèrent en principe les avantages des deux méthodes précédentes. Elle répond parfaitement à des projets à long terme (plusieurs années) pour lesquels la réalisation de sous-projets doit être organisée (apport de sous-ensembles pour le montage). C'est à cet effet qu'elle utilise la relation fin-fin. L'inclusion dans le graphe des tâches, de milestones (balises) en fait un instrument de gestion utilisable pour tous les niveaux.

PPS :

Une méthode assez récente élaborée pour le ministère de la défense allemand utilise toutes les combinaisons mathématiquement possibles entre relations et écarts — on en arrive à 24 — et inscrit de plus les « milestones » (balises) qui selon les besoins, sont pris soit sur les débuts, soit sur les fins d'activités ;

la méthode é
supplémentaire
ple, les utilise.
bale, mais don
l'utilisation de

APPL

Examinons
le cas de l'ent

Nous pouvo
vité par :

— une extensi

— une grande

— peu de répe

L'entretien,
situé dans le s
et devra donc

Le choix en
sur le nœud
plutôt pencher
de correction p

Dans le ch
peut s'étaler su
nous considéro
projet a avanta
tâches, caracté
parce qu'elle pe
dans un projet e
de départ.

Nous nous
plus réduit : M

Pour des rai
pensons pouvo
tels que les pe
amène, de façon
coniser MPM.

Je ne voudr
dres des défen
compris celles
adaptées à l'un
qu'il faut le sig
sinon le plus gr
gation de décor
et d'en recherc
opération entrai
des diagrammes

L'utilisateur
dont la réponse
moyens.

discussion

M. JUPILLAT (Wendel-Sidelor) - Quel est, en entretien, le domaine d'utilisation des méthodes de chemin critique ? Les interventions (opérations d'entretien proprement dites), les réparations et les fabrications de pièces ?

Pour ces différentes types d'opérations, y a-t-il, selon vous, un domaine d'application privilégié, en fonction de l'importance des opérations en durée ou en nombre de tâches élémentaires, en fonction de leur répétitivité ?

Quels moyens faut-il y consacrer et où faut-il les situer dans la structure d'entretien (en centrale ou au niveau des lignes de fabrication) ?

M. SADELER - La méthode de chemin critique ou la méthode des réseaux est une « méthode de penser ordonnancement ». Dans cet ordre d'idée, elle s'applique pratiquement à tout. Il y a des domaines préférentiels, mais elle est toujours d'ordre général.

Dans mon usine, la méthode de chemin critique a été établie pour la réfection d'un haut fourneau qui était une opération de six semaines ; on l'a utilisée également pour tester le remplacement d'une lame de scie, qui est une opération assez régulière dans un laminoir, pour laquelle on voulait découper exactement les divers mouvements et voir si les interventions des 3 ou 4 mécaniciens qui y étaient affectés étaient bien échelonnées et si on avait le minimum de périodes creuses.

De sorte qu'il n'y a aucune limite dans le temps, ni dans le nombre de tâches, ni à aucune nature d'activité. Notons cependant que si, par la méthode de chemin critique, l'établissement des tâches a une fois été établi pour un haut fourneau, il est clair que pour la réfection qui se présente pour un deuxième haut fourneau, le graphe sera plus facile à élaborer.

L'intérêt de la méthode va en croissant avec le nombre d'opérations, et surtout avec le nombre d'interconnexions qui existent entre ces opérations. Il est clair que, si une opération ne présente qu'une demi-douzaine de tâches qu'on voit assez facilement du premier coup d'œil, il est inutile de dresser de longs tableaux de chemins critiques ; on peut en faire directement la planification. Mais la méthode de chemin critique est normalement un processus d'ordonnancement et il faut souligner que le nombre d'interconnexions constitue le principal critère dans cet ordre d'idée pour son application ; c'est sur ce point que les méthodes de chemin critique présentent leur utilité la plus grande.

En ce qui concerne les domaines préférentiels d'application, ces méthodes s'appliquent à tous les domaines : à l'entretien, à l'organisation, au développement d'un produit nouveau, à la recherche scientifique...

En ce qui concerne les moyens, on touche à l'organisation interne et à la structure des diverses usines. Personnellement, je déconseille de créer des bureaux « chemin critique », je déconseille même de faire établir les plans de chemins critiques par les bureaux de méthodes.

En revenant à ma première définition qui stipule qu'il s'agit d'une méthode de penser, j'estime que c'est à l'ingénieur responsable de son secteur, de prendre en main la direction et l'établissement de ce plan qui est celui du chemin critique. J'ajouterai qu'ici comme ailleurs — et on vient de le dire — tout est travail d'équipe : on aura besoin de plusieurs échelons pour dresser valablement, à mon avis, un chemin critique convenable, car, au-delà des liaisons et des interconnexions qui, finalement, peuvent s'opérer sur un logigramme dont serait capable l'ingénieur à lui seul, je crois que tout le monde a intérêt à associer le niveau contremaître et le niveau technicien à l'élaboration du projet, pour des raisons techniques d'abord, en ce qui concerne les durées, mais pour des raisons psychologiques également, car une fois établi d'un commun accord, le plan de chemin critique constitue un élément de base et un élément de travail auquel tout le monde a donné son assentiment.

Le niveau acquis pour l'établissement du plan dont l'élaboration n'est pas tellement compliquée peut être celui de l'ingénieur évidemment, ou du technicien ou enfin du contremaître, à moins que le cas soit tellement particulier qu'il faille dès le début des suppléments d'informations.

Comme l'indique M. Bresso, les opérations se font à la main jusqu'à 200 tâches ; au-delà, il me semble délicat d'opérer sans ordinateur. Mais il est un fait que le programme, même sorti par ordinateur, ne devrait pas être distribué en bloc, c'est-à-dire en gros lots, surtout pour les tâches de longue haleine comme les hauts fourneaux. Il ne faut donner les programmes que pour deux ou trois jours au maximum, pour la simple raison que si on affiche ce programme dans son intégralité, il est clair que les niveaux inférieurs d'exécution essaieront de valoriser les marges à leur possiblité, c'est-à-dire qu'en voyant une certaine marge acquise, on aura tendance à se reposer sur le bénéfice des opérations antérieures, ce qui n'entre pas dans l'idée du concept général.

En ce qui concerne la situation des moyens au niveau de l'Entretien Central ou des lignes de fabrication, je dirai que c'est un instrument de travail pour la ligne de fabrication, c'est-à-dire pour le premier front. J'accepterai cependant, selon le schéma d'organisation d'une usine, qu'il y ait d'autres opinions absolument valables et aussi valables que la mienne.

En terme de rentabilité, comme dans de nombreux cas en matière d'entretien, il est assez difficile de situer des valeurs. Pour les cas personnels vécus dans mon usine, c'est-à-dire les seuls auxquels je puisse me référer, nous avons, vis-à-vis des schémas Gantt établis tant chez nous que par des entreprises extérieures contactées pour des dépannages d'une durée d'environ une dizaine de jours, des gains de l'ordre de 20 %.

M. JUPILLAT - N'avez-vous pas essayé d'établir à partir de quel moment il était intéressant d'appliquer la méthode de chemin critique ?

M. SADELER - En terme de rendement, le travail à mettre en œuvre pour dresser un plan est en rapport avec l'envergure de l'opération et dépend dans une large mesure du fractionnement plus ou moins important des tâches. Avec le gain précité, je pense qu'il ne faut pas craindre d'aboutir à des chiffres plus élevés du fait d'un supplément de frais engendrés par l'étude.

CERCLE D'ÉTUDES DES MÉTAUX

158 bis, COURS FAURIEL — 42100 SAINT-ETIENNE

Cours de Métallurgie

Un nouveau cycle du Cours de Métallurgie commencera le **mercredi 11 octobre 1972,** à 17 heures, dans le grand amphithéâtre de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines, 158 bis, Cours Fauriel, à Saint-Etienne.

Le cycle complet de ce cours est établi sur trois années, avec la répartition suivante :

1re année - Rappel des notions de mathématiques, physique, chimie indispensables à la compréhension du cours de métallurgie - mode d'expression.

2e année - Elaboration et transformation des métaux.

3e année - Métallographie, traitements thermiques, emploi des métaux, contrôles.

Chaque année de cours comportera environ 30 séances qui auront lieu, en règle générale, les mercredis de 17 à 18 heures.

Ce programme, et en particulier celui de la première année, a été établi en accord avec le professeur de métallurgie C.N.A.M. de manière que, partant d'un niveau de l'ordre d'un C.A.P., les auditeurs soient préparés à aborder avec plus de profit les cours du C.N.A.M.

Cet enseignement, orienté en vue de la promotion, est conçu d'après les méthodes modernes de contact et de discussion entre professeur et auditeurs, pour faciliter la tâche de tous ceux qui veulent augmenter leur technicité.

Les droits d'inscription au cours, qui étaient nuls jusqu'à maintenant, sont fixés à 800 F pour l'année scolaire 1972-1973. Ceci résulte du fait que le cours est placé dans le cadre de la **formation professionnelle permanente** et qu'il bénéficiera des dispositions légales qui entrent actuellement en vigueur. Les auditeurs auront à demander à leur employeur un **congé de formation :** ils seront alors rémunérés pendant le temps d'absence du travail. Le Cercle d'Etudes des Métaux sollicitera leurs employeurs pour le règlement de leurs droits d'inscription.

Tous renseignements utiles pourront être obtenus le **mercredi 11 octobre,** de 16 à 17 heures, dans le grand amphithéâtre de l'Ecole Nationale Supérieure des Mines, avant la première séance de cours.

N.B. — Les auditeurs du cours recevront gratuitement le Bulletin du Cercle d'Etudes des Métaux, ils pourront assister aux conférences organisées par le Cercle et auront accès à la bibliothèque.

méthodes de chemin critique : application pratique à un cas

P. Bresso
Hauts Fourneaux Réunis de Saulnes et Uckange

Communication présentée à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

CHOIX DE LA MÉTHODE A UTILISER DANS L'ENTRETIEN

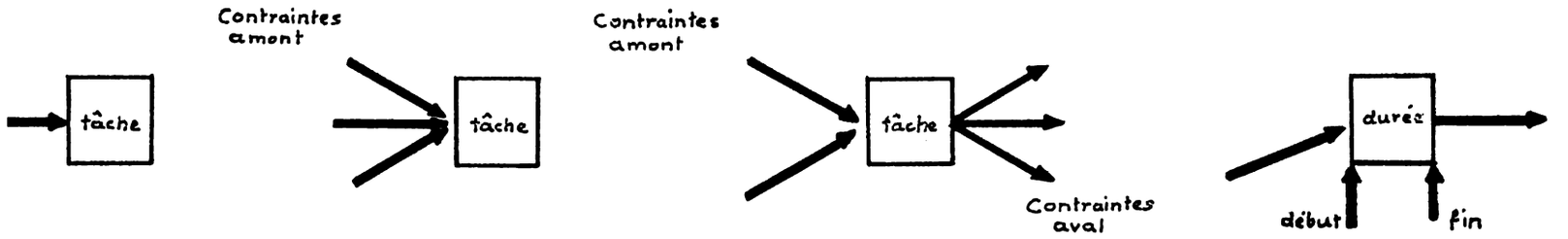
Les conclusions de M. Sadeler, relatives à l'application à l'entretien des méthodes de réseaux, rejoignent celles de la majorité des ingénieurs qui ont utilisé ces méthodes, à savoir :

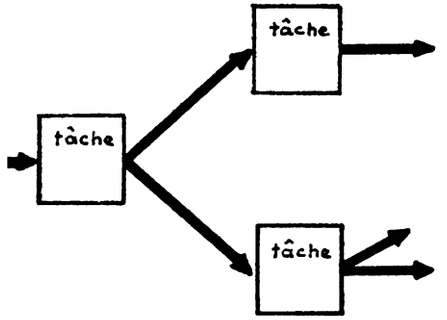
— que la représentation par tâches et contraintes est celle qui convient le mieux aux méthodes de l'entretien car dans les travaux d'entretien, non seulement le lancement, mais aussi le suivi des travaux est très important et c'est effectivement au niveau des tâches et des contraintes que les bureaux de préparation et les exécutants ont à travailler, trouvant ainsi une représentation plus directe et plus imagée du travail ; il n'est qu'à penser que la tâche peut figurer ou être figurée par un « bon d'exécution » ou « bon de travail » ;

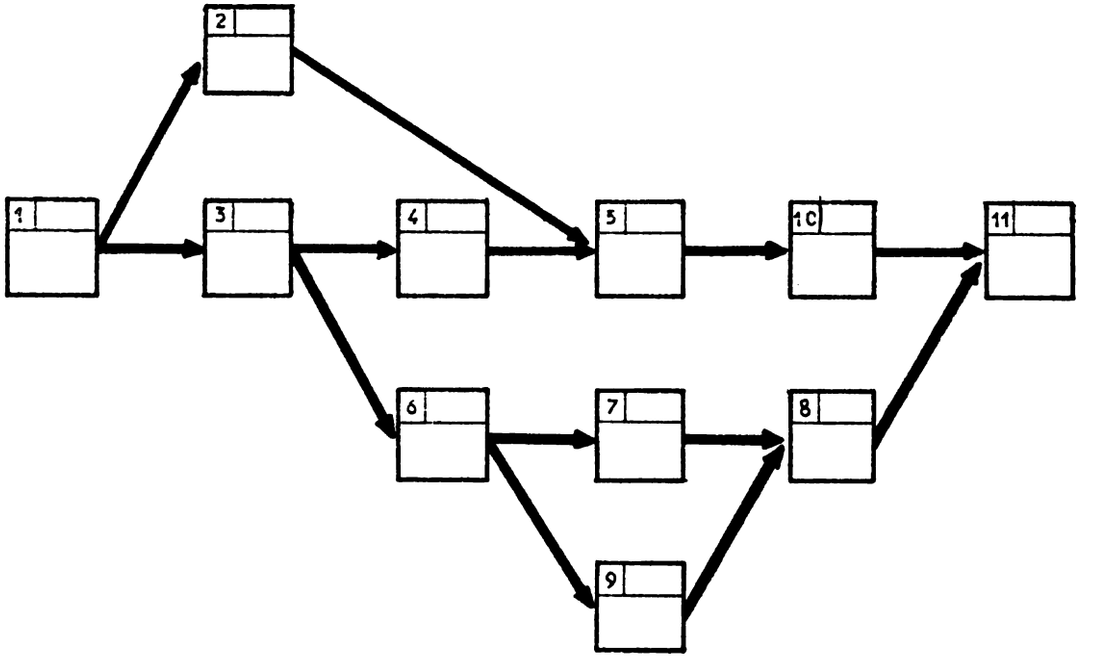
— qu'il est nécessaire d'éviter l'utilisation d'un grand nombre de types de contraintes d'enchainement, afin justement de ne pas perdre, sur un graphique, physiquement de vue les enchainements simples, étant entendu que les opérations de l'entretien peuvent être décomposées à volonté de telle sorte que dans la majeure partie des cas, il ne subsiste entre elles que des contraintes d'enchainement simples de fin de tâche à début de tâche,

conclusions auxquelles j'ajouterai :

— que les bureaux de préparation de la sidérurgie française ne sont pas rôdés à l'emploi systématique de telles méthodes, et qu'il me semble vain de vouloir utiliser au départ les méthodes les plus élaborées et, par conséquent, les plus complexes, sans en avoir saisi pleinement les fondements, alors que le but à rechercher est la « vulgarisation » du procédé, amenant à son emploi les échelons hiérarchiques de la base, même si nous savons *a priori* que nous ne couvrirons pas tous les cas, mais la majorité d'entre eux, et qu'il sera toujours possible d'améliorer au fur et à mesure de l'expérience. Il est certainement préférable, pour bien se convaincre, de retourner aux sources chercher un résultat certain qu'il sera toujours possible d'améliorer, plutôt que de se lancer dans des automatismes complexes dont on n'est pas sûr de se dépêtrer.


tâche
Contraintes amont
tâche
Contraintes amont
tâche
Contraintes aval
durée
début
fin


tâche
tâche
tâche


1
2
3
4
5
10
11
6
7
8
9

MÉTHODE PROPOSÉE

C'est en particulier dans le cadre de révisions de machines ou de réfections d'appareils que ces méthodes ont été utilisées jusqu'ici, mais des contacts avec des collègues m'ont laissé dernièrement entrevoir qu'il est sans doute possible de les utiliser dans des gaines d'usinage.

Ayant été amené à réfléchir aux problèmes posés et après l'expérience de quelques cas d'utilisation, j'ai, en partant de la représentation de méthode MPM, introduit des simplifications qui ont repris la notion de relation d'antériorité simple utilisée en PERT, simplifications et représentation qui permettent de définir qu'il n'existe entre les tâches que la contrainte logique d'antériorité simple, ou contrainte d'enchaînement de fin de tâche à début de tâche, représentation dans laquelle :

— la contrainte n'a pas de valeur temps,

— le rectangle représente la durée de la tâche sans échelle de temps,

— le montant gauche représente l'événement « début de la tâche »,

— le montant droit représente l'événement « fin de la tâche »,

— la ou les flèches à l'entrée de la tâche représente la ou les contraintes d'antériorité amont (les seules dont la connaissance est absolument nécessaire),

— la ou les flèches à la sortie de la tâche représente la ou les contraintes d'enchaînement aval.

La figuration et le réseau auxquels on aboutit se présente donc selon *figure 1* avec, pour chaque tâche, la connaissance de :

— sa durée,

— ses contraintes d'enchaînement amont,

— ses contraintes d'enchaînement aval.

LES CONTRAINTES EXTÉRIEURES

Il ne faut toutefois pas perdre de vue que, dans le cadre d'un projet à réaliser, il est nécessaire, dès que l'on entame son étude, de définir une politique de projet :

— que si les moyens mis à la disposition de l'exécution du projet, séparément pris pour chaque tâche, sont suffisants à son exécution (durée = fonction des moyens), ils peuvent être limités dans leur emploi simultané à l'exécution de plusieurs tâches,

— et que certaines contraintes administratives, technologiques, humaines, financières, de bon sens, pèsent sur l'exécution du projet et que ces contraintes ne sont pas incluses dans le graphe qui ne tient compte, lui, que des contraintes d'enchaînement ; on peut donc dire que le graphe est représentatif d'un enchaînement d'exécution sans limitation globale des moyens et que les calculs qui s'y rapportent forment l'un des éléments de la décision, les autres éléments étant précisément les contraintes citées plus haut que l'on pourra définir comme « contraintes extérieures ».

EXEMPLE PÉDAGOGIQUE

A titre d'exemple, dans un cadre purement pédagogique, nous allons voir l'utilité du graphe dans le cadre d'une révision de machine, après avoir procédé au tracé et aux calculs qui s'y rattachent.

Projet.

Révision d'un groupe de condensation de turbine.

— politique de la révision :

- politique 1 : durée minimum,
- politique 2 : lissage maximum de la charge,

nous verrons plus loin l'interaction politique-graphe.

Présentation du matériel.

— le groupe à réviser se compose :

- d'une pompe de circulation,
- d'une pompe d'extraction,
- d'une pompe à vide avec vanne,
- d'un moteur électrique,

l'ensemble sur une même ligne d'arbre.

ANALYSE

Recherche des tâches, avec l'aide du croquis d'implantation (fig. 2) et de la décomposition en éléments et opérations (tabl. I). Cette analyse étant à but pédagogique ne devra pas être systématiquement critiquée. La seule contrainte imposée est que le demi-corps inférieur de la pompe de circulation restera en place (méthode de travail).

Liste des tâches : l'analyse conduit à l'établissement d'une liste de tâches avec, pour chacune d'elles, l'évaluation des durées, des moyens et des contraintes d'enchainement amont, l'ensemble sous forme d'un tableau (tabl. II).

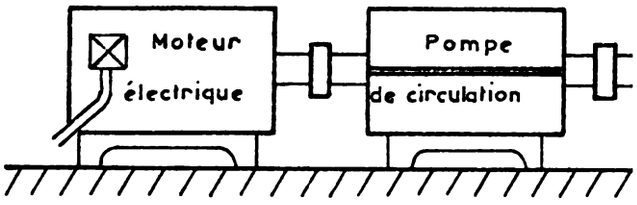


Figure 2. — Révision d'un groupe de
Croquis d'ir

TABLEAU I : Décomposition en éléments de machine et opérations à réaliser.

Eléments		Opérations
Moteur électrique		Démontage
Pompe de circulation	1/2 corps inférieur	Nettoyage
	rotor	Vérification
	1/2 corps supérieur	Révision
		Alignement
Pompe d'extraction	corps	Consignation
	rotor	Déconsignation
		Essais
Pompe à vide	corps	
	rotor	
	vanne	

CONFECTION DU GRAPHE

La mise en page du graphe est en général assez longue et la gomme et le crayon sont les outils principaux.

On peut noter que le graphe peut éventuellement être réalisé au fur et à mesure de l'avancement du projet.

Dans la plupart des cas, pour obtenir le meilleur tracé, on pourra classer les tâches par rang de contraintes, le rang d'une tâche étant égal au nombre maximum de contraintes rencontrées pour arriver à la tâche.

TABLEAU II : Révision groupe de condensation - Résultats de l'analyse - Contraintes d'enchainement - rang dans le graphe

N° tâche	Désignation	Durée	Moyens	Moyen de levage	Contraintes potent.		Rang dans le graphe
					Amont	Aval	
1	Consignation générale	1	1 E-1 M		début	2-7-17	0
2	Débranchement moteur électrique	1	1 E		1	3	1
3	Dépose moteur électrique	1	2 M	x	2	4-8	2
4	Révision moteur électrique	11	1 E		3	5	3
5	Remise en place moteur électrique	1	1 M	x	4-12	6-23	7
6	Branchement moteur électrique	1	1 E		5	24	6
7	Ouverture pompe de circulation	2	1 M	x	1	10-8	1
8	Dépose rotor pompe de circulation	3	2 M	x	3-7-14	9-11	4
9	Révision rotor pompe de circulation	16	2 M		8	12	5
10	Nettoyage 1/2 chapeau supérieur pompe de circulation	4	1 M		7	13	2
11	Nettoyage 1/2 corps inférieur pompe de circulation	6	1 M		8	12	5
12	Remise en place rotor pompe de circulation	4	2 M	x	9-11	5-13-16	6
13	Fermeture pompe de circulation	4	1 M	x	10-12	23	7
14	Dépose pompe d'extraction	3	1 M	x	18	15-8	3
15	Révision pompe d'extraction	10	1 M		14	16	4
16	Remise en place pompe d'extraction	2	1 M	x	12-15	20	7
17	Dépose vanne pompe à vide	1	1 T	x	1	18-21	1
18	Dépose pompe à vide	3	1 M		17	14-19	2
19	Révision pompe à vide	8	1 M		18	20	3
20	Remise en place pompe à vide	2	1 M		16-19	23-22	8
21	Révision vanne pompe à vide	4	1 T		17	22	2
22	Pose vanne pompe à vide	2	1 T	x	20-21	24	9
23	Vérification alignement	3	2 M		5-13-20	24	9
24	Déconsignation	1	1 M-1 E		6-22-23	25	10
25	Essais	1	1 M-1 E		24	Fin	11

M = Mécanicien

E = Electricien

T = Tuyauteur

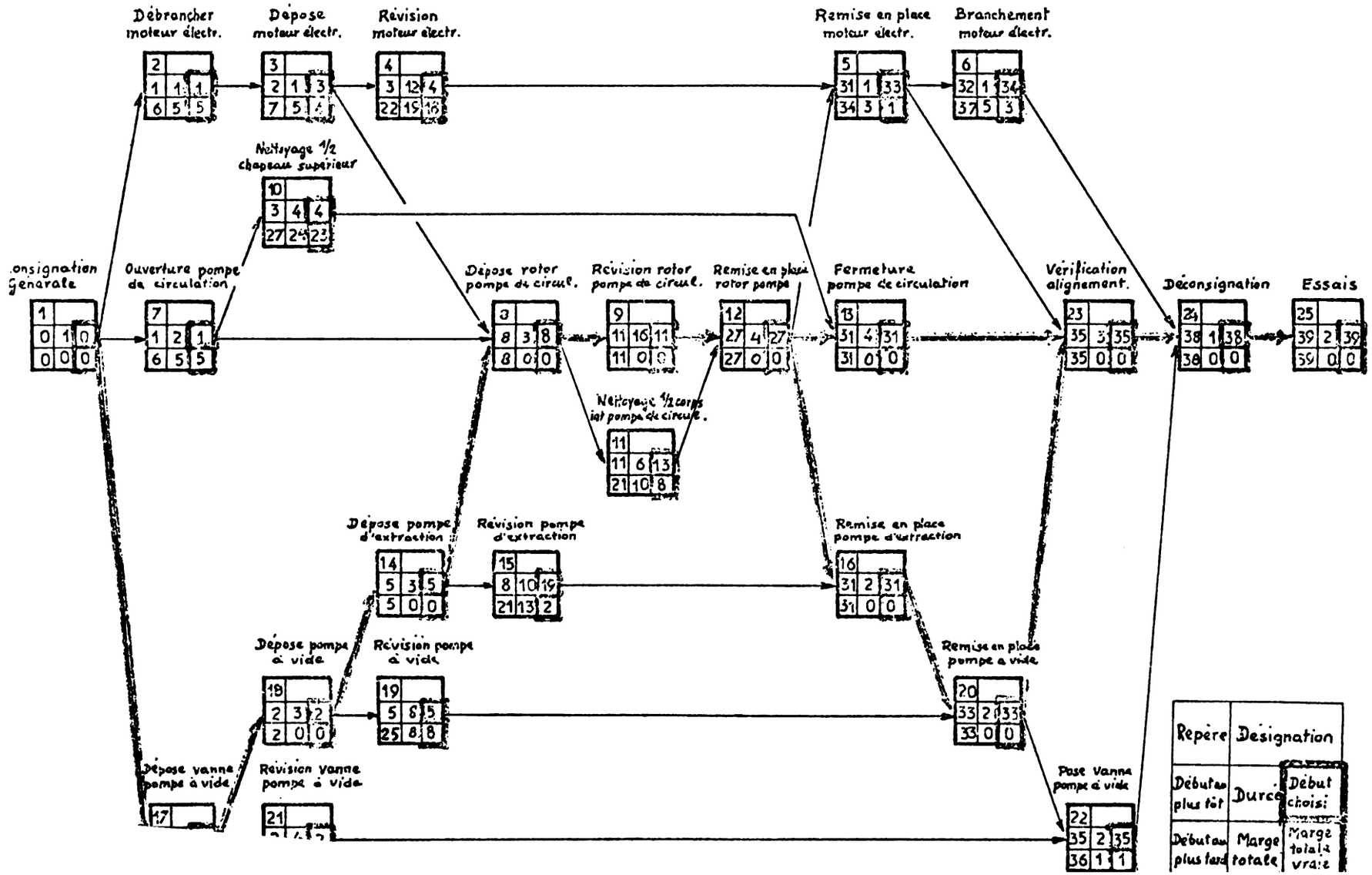
TABLEAU III :

Repère	Désignation (éventuellement moyens)	
Début au plus tôt	Durée	
Début au plus tard	Marge	

Calcul du début au plus tôt de chaque tâche.

On définit comme début au plus tôt de chaque tâche la date avant laquelle la tâche ne peut débuter, du seul fait que l'une des tâches immédiatement antérieures n'est pas terminée. Dans l'hypothèse où une tâche a plusieurs tâches amont, c'est le chemin le plus long qui sera pris en compte (fig. 5) et on aboutit ainsi à positionner sur le graphe les dates de début au plus tôt de l'ensemble des tâches, le calcul s'effectuant en partant de la première tâche (voir fig. 7).

Nous arrivons ainsi à la connaissance de la durée minimum du projet, compte tenu des décisions prises


Débrancher moteur électr.
Dépose moteur électr.
Révision moteur électr.
Remise en place moteur électr.
Branchement moteur électr.
Nettoyage 1/2 chapeau supérieur
Consignation Générale
Ouverture pompe de circulation
Dépose rotor pompe de circul.
Révision rotor pompe de circul.
Remise en place rotor pompe
Fermeture pompe de circulation
Vérification alignement.
Déconsignation
Essais
Nettoyage 1/2 corps int pompe de circul.
Dépose pompe d'extraction
Révision pompe d'extraction
Remise en place pompe d'extraction
Dépose pompe à vide
Révision pompe à vide
Remise en place pompe à vide
Dépose vanne pompe à vide
Révision vanne pompe à vide
Pose vanne pompe à vide
Repère
Désignation
Début au plus tôt
Durée
Début choisi
Début au plus tard
Marge totale
Marge totale vraie

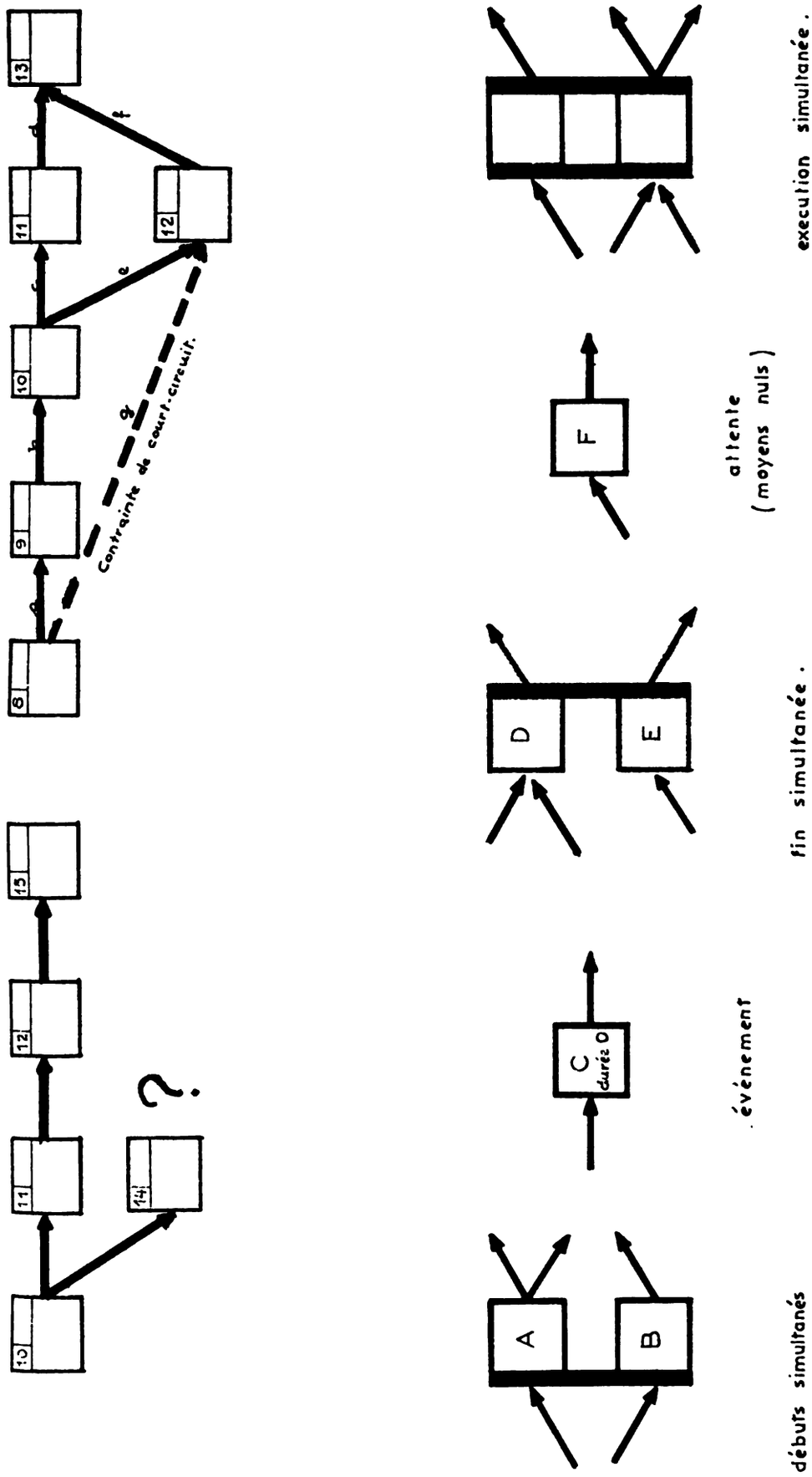

Contrainte de court-circuit.
A
B
C
durée 0
D
E
F
débuts simultanés
événement
fin simultanée.
attente
(moyens nuls)
execution simultanée.

Figure 4.

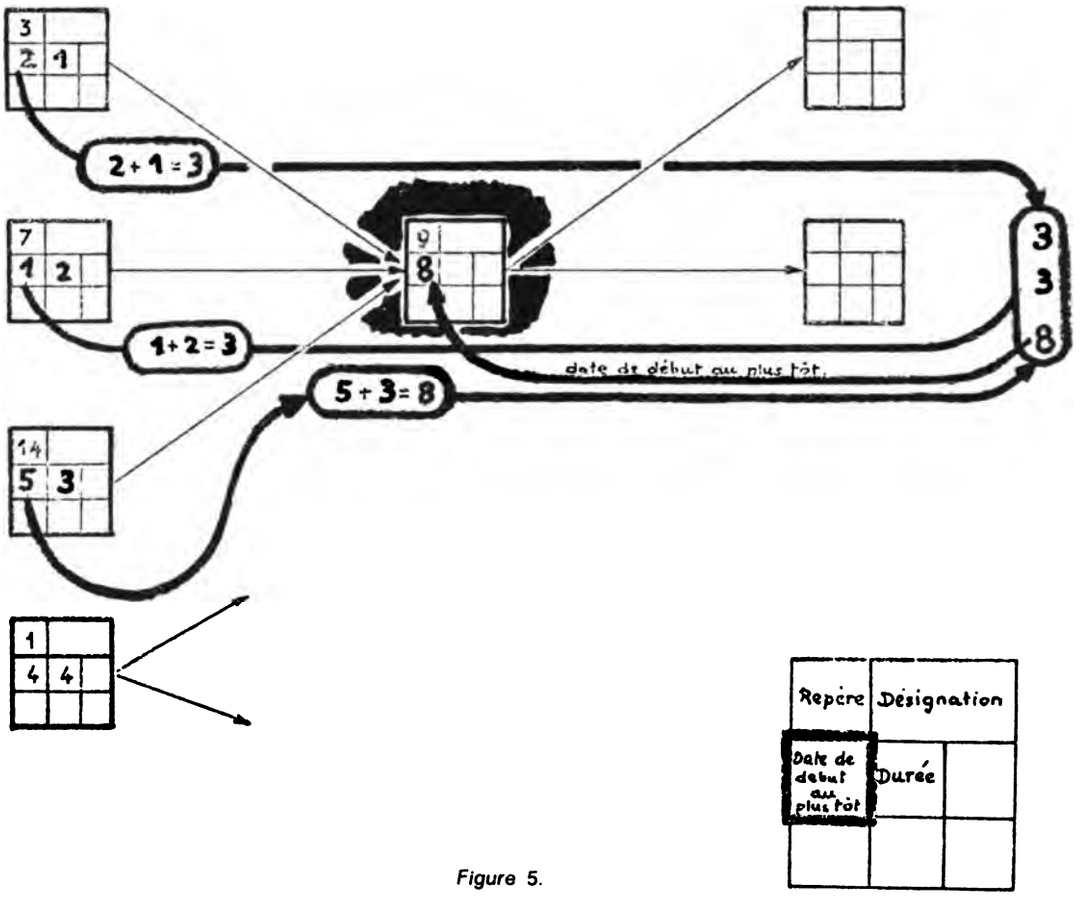


Figure 5.

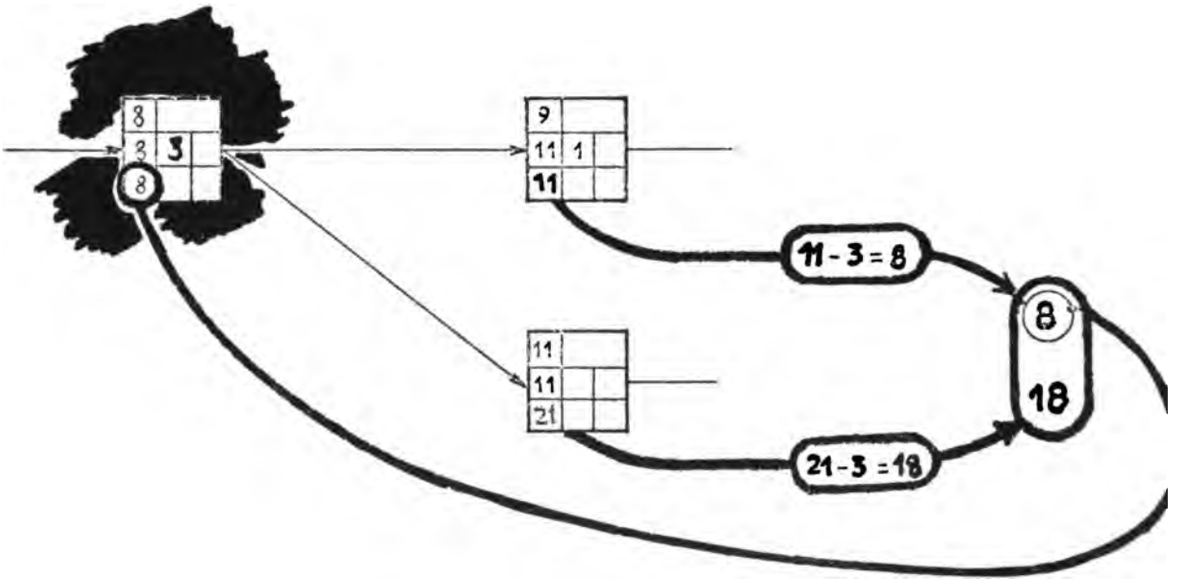


Figure 6.

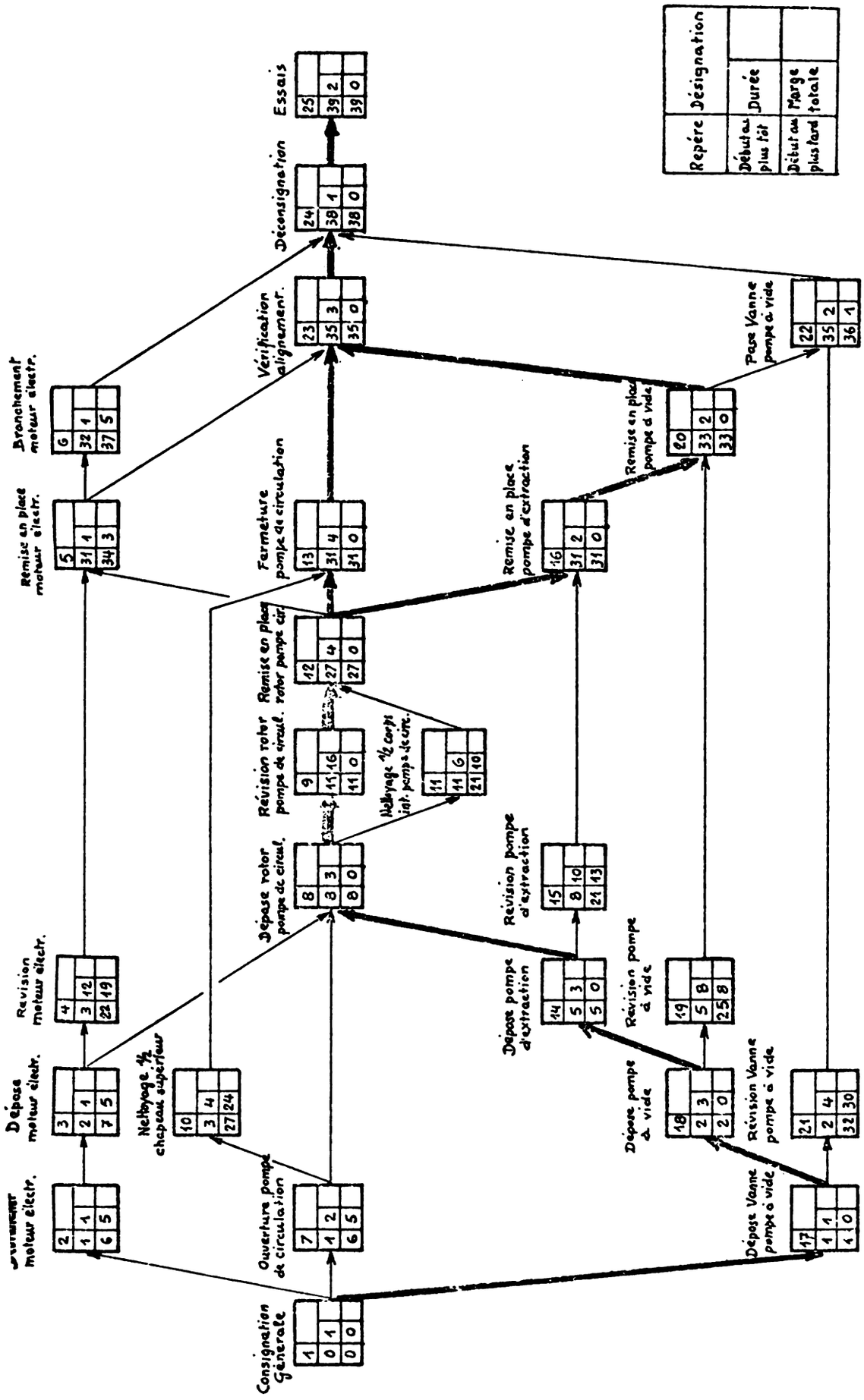

Repère
Désignation
Début au plus tôt
Durée
Début au plus tard
Marge totale
Consignation générale
Ouverture pompe de circulation
Nettoyage ½ chapeau supérieur
Dépose moteur électr.
Revision moteur électr.
Remise en place moteur électr.
Branchement moteur électr.
Dépose rotor pompe de circul.
Révision rotor pompe de circul.
Remise en place rotor pompe circ.
Nettoyage ½ corps rot. pompe de circ.
Fermeture pompe de circulation
Vérification alignement
Déconsignation
Essais
Dépose pompe d'extraction
Révision pompe d'extraction
Remise en place pompe d'extraction
Dépose pompe à vide
Révision pompe à vide
Remise en place pompe à vide
Dépose Vanne pompe à vide
Révision Vanne pompe à vide
Pose Vanne pompe à vide

Figure 7.

au moment de l'analyse et de la mise à disposition de tous les moyens nécessaires, et compte non tenu des contraintes extérieures.

Ne pas oublier d'ajouter la durée de la dernière tâche à sa date de début au plus tôt pour obtenir la durée globale du projet.

Une première conclusion est que l'on a déjà une idée sur la durée globale du projet et que l'on sait déjà si elle cadre ou non avec les prévisions générales.

Calcul du début au plus tard de chaque tâche.

On définit comme début au plus tard de chaque tâche, la date après laquelle la tâche ne peut débuter, sinon la durée globale du projet serait repoussée, le décalage dans le début de l'exécution de la tâche considérée entraînant un décalage général du début d'exécution des tâches suivantes.

Dans l'hypothèse où une tâche a plusieurs tâches aval, c'est la plus faible valeur qui est prise en considération (fig. 6) et on aboutit ainsi à positionner sur le graphe les dates de début au plus tard de l'ensemble des tâches, le calcul s'effectuant en partant de la dernière tâche (fig. 7).

Calcul des marges totales.

L'écart existant entre le début au plus tard et le début au plus tôt de chaque tâche constitue la marge totale existant sur cette tâche ; tout dépassement de cette marge entraîne un allongement de la durée prévue du projet (fig. 7).

Nous constatons que certaines marges sont nulles et que les marges nulles forment un cheminement (éventuellement plusieurs cheminements) entre la première et la dernière tâche. Ce cheminement des tâches à marge nulle constitue le chemin critique du projet (fig. 7).

Nous pouvons dès maintenant tirer des conclusions, en particulier :

— La connaissance du chemin critique nous permettra de revoir éventuellement la politique du projet, car en première approximation, et compte tenu des seules contraintes d'enchaînement, le but poursuivi ne sera pas atteint.

— Elle permet de reprendre éventuellement l'analyse du graphe sur les tâches du chemin critique, en modifiant les moyens mis à leur disposition, amenant éventuellement un nouveau calcul, parfois même un nouveau graphe (changement de méthode de travail).

— Elle permet de connaître également les tâches à faible marge, sur lesquelles l'attention devra également être portée.

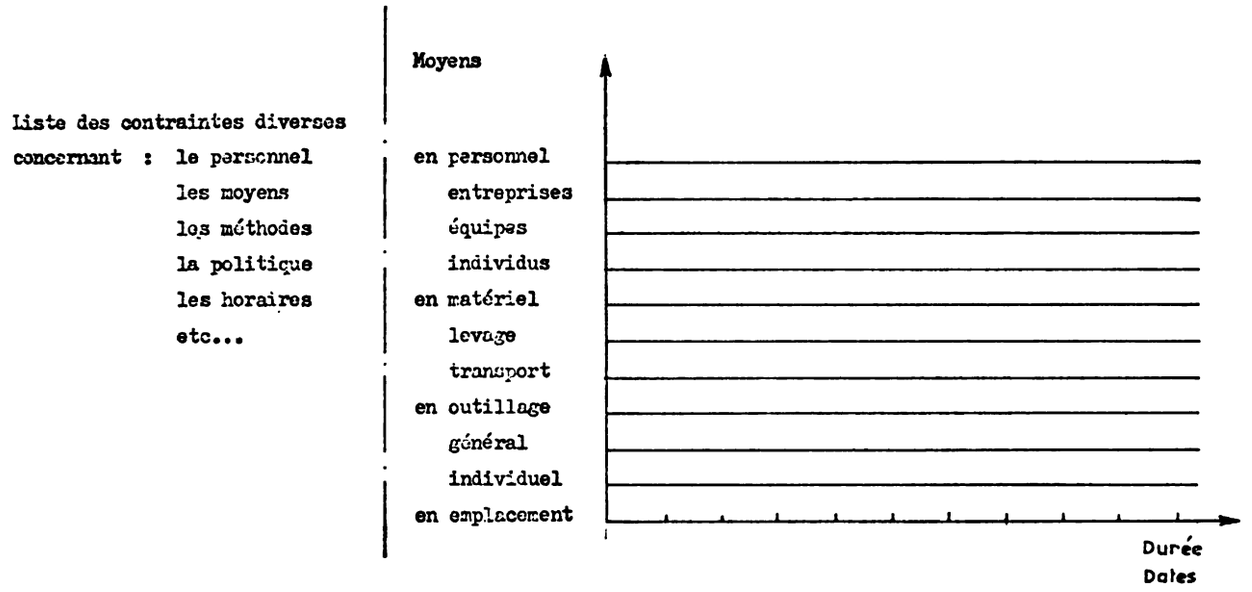


Figure 8.

qualification), moyens de levage, moyens de transport ou de manutention, outillages, ou encore que nous les découvrions au fur et à mesure des besoins (et c'est certainement là la première phase de la confection du tableau de charge).

- Méthode d'établissement. Il est nécessaire de choisir l'ordre d'examen des tâches. Une méthode consiste à les classer dans l'ordre de leur début au plus tard (ce qui revient à les rendre toutes critiques).
- Les tâches sont examinées dans cet ordre et positionnées en fonction des contraintes d'enchaînement, des moyens, des contraintes extérieures et des marges.

Nous allons voir trois hypothèses de politique :

Hypothèse 1 : Début au plus tôt de toutes les tâches.

Conclusions :

— charge irrégulière,

— nécessité à un moment donné de trois moyens de levage,

— connaissance globale du projet - met l'accent sur les moyens de levage.

Hypothèse 2 : Moyens de levage limités à un appareil - lissage maxi.

Conclusions : Il n'est pas possible de tenir les délais prévus par le graphe car il y a une limitation de moyens sur des tâches simultanées.

Le chemin critique théorique est ouvert et fait place à un chemin critique prévu.

La durée du projet est allongée.

Cet allongement est dû à une contrainte extérieure non incluse dans le graphe.

Hypothèse 3 : Durée minimum - lissage optimum.

Conclusions : L'utilisation d'un deuxième moyen de levage permet de tenir la durée théorique.

Résultats *figure 9.*

Il s'agit à présent de reporter sur le graphe les dates définies de début, ou début prévu ainsi que les marges vraies (ces marges existent en temps, mais pas en moyens ; on aurait pu garder des marges en temps chaque fois que cela aurait été possible) (fig. 10).

A partir de ce tableau de charge, nous pourrons tracer un diagramme à barres (fig. 11) ou encore un calendrier.

Lancement et suivi.

Il est rationnellement nécessaire de lancer les travaux et également de les suivre.

En cas d'avance ou de dépassement, le graphe aidera à prendre des décisions et si le temps est suffisant, les calculs du graphe pourront être repris.

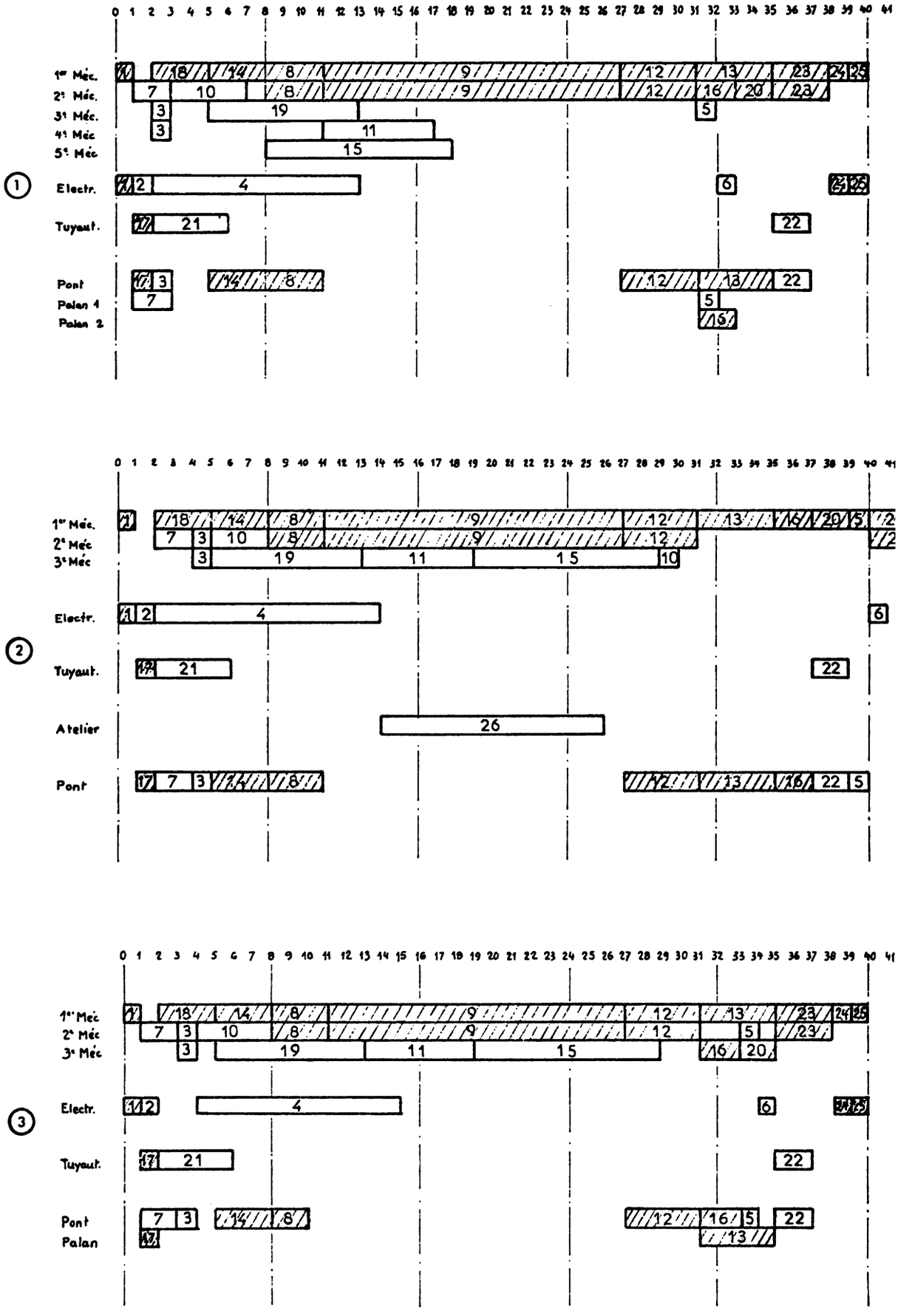


Figure 9. — Tableaux de charge. Exemples.

1 : Tableau d'essai. Toutes les tâches placées au début au plus tôt.

2 : Moyens de levage limités à un appareil. Lissage maxi.

3 : Durée minimum. Lissage optimum.

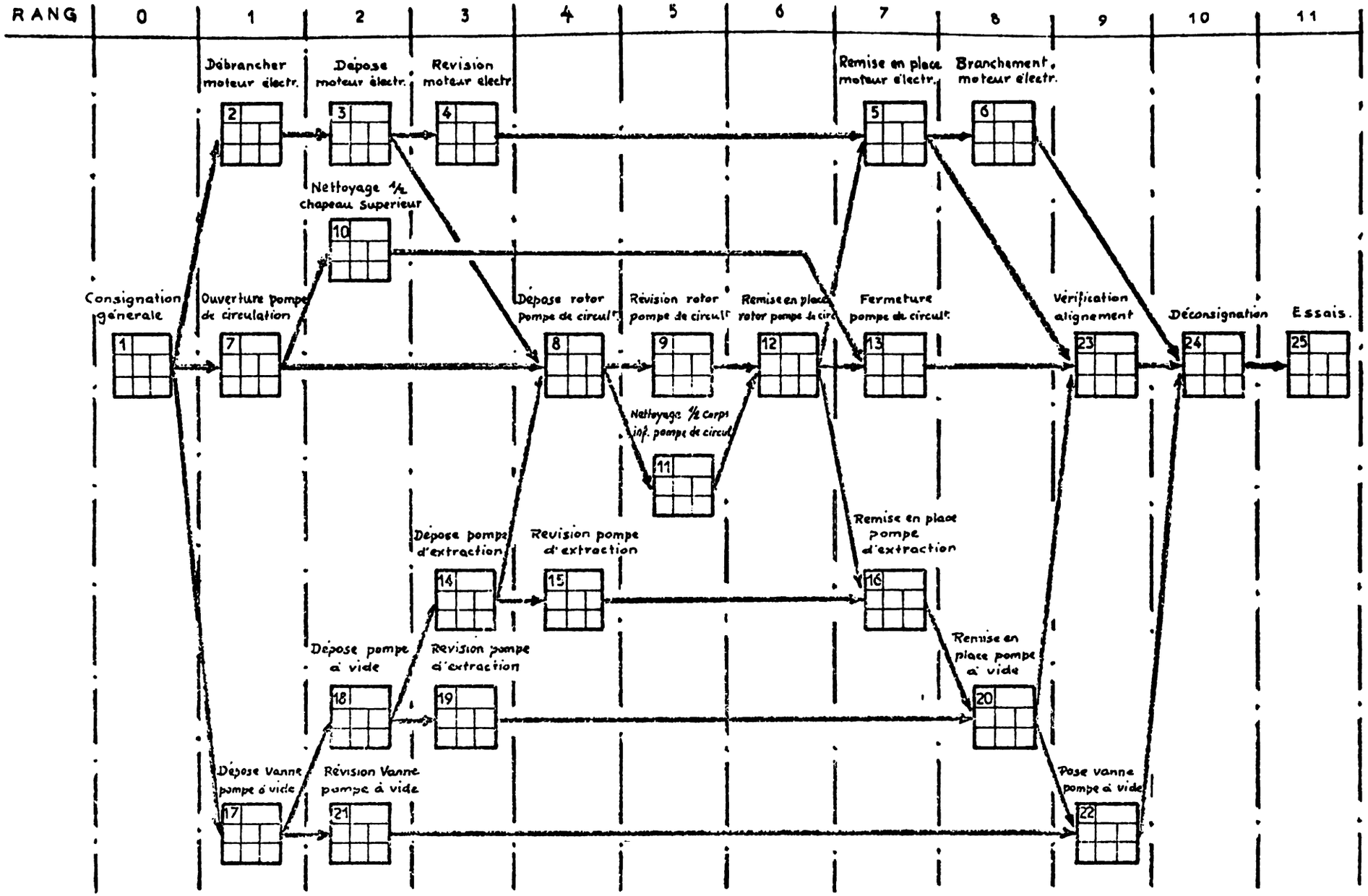
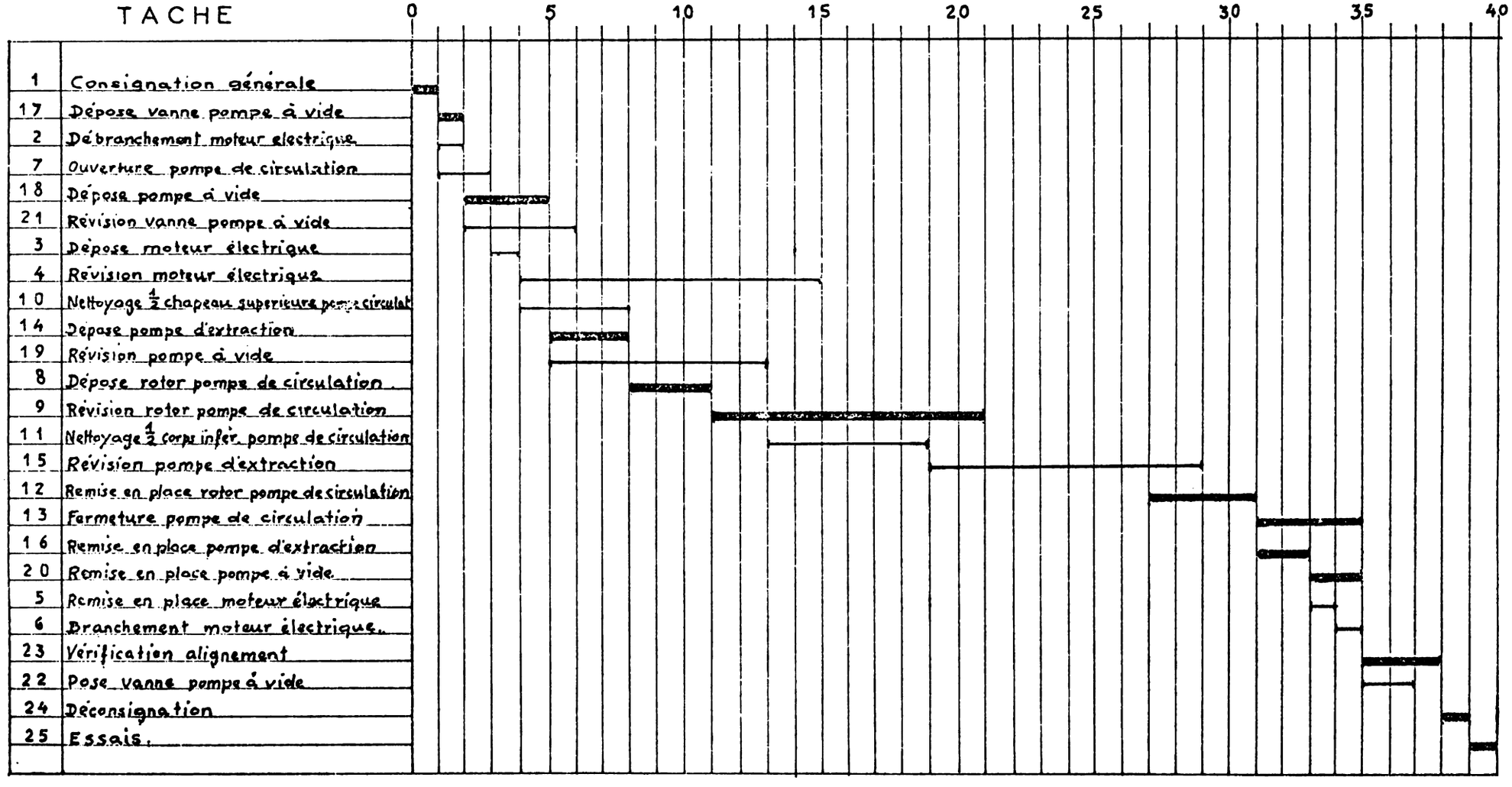

RANG
0
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Débrancher moteur électr.
Dépose moteur électr.
Revision moteur électr.
Remise en place moteur électr.
Branchement moteur électr.
Nettoyage 1/2 chapeau supérieur
Consignation générale
Ouverture pompe de circulation
Dépose rotor pompe de circult.
Révision rotor pompe de circult.
Remise en place rotor pompe de circ.
Fermeture pompe de circult.
Vérification alignement
Déconsignation
Essais.
Nettoyage 1/2 corps inf. pompe de circul.
Dépose pompe d'extraction
Revision pompe d'extraction
Remise en place pompe d'extraction
Dépose pompe à vide
Revision pompe d'extraction
Remise en place pompe à vide
Dépose vanne pompe à vide
Révision vanne pompe à vide
Pose vanne pompe à vide
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25

Figure 10.


TACHE
0
5
10
15
20
25
30
35
40
1 Consignation générale
17 Dépose vanne pompe à vide
2 Débranchement moteur electrique
7 Ouverture pompe de cirsulation
18 Dépose pompe à vide
21 Révision vanne pompe à vide
3 Dépose moteur électrique
4 Révision moteur électrique
10 Nettoyage ½ chapeau superieure pompe circulat
14 Depose pompe d'extraction
19 Révision pompe à vide
8 Dépose rotor pompe de circulation
9 Révision rotor pompe de circulation
11 Nettoyage ½ corps infér. pompe de circulation
15 Révision pompe d'extraction
12 Remise en place rotor pompe de cirsulation
13 Fermeture pompe de circulation
16 Remise en place pompe d'extraction
20 Remise en place pompe à vide
5 Remise en place moteur électrique
6 Branchement moteur électrique.
23 Vérification alignement
22 Pose vanne pompe à vide
24 Déconsignation
25 Essais.

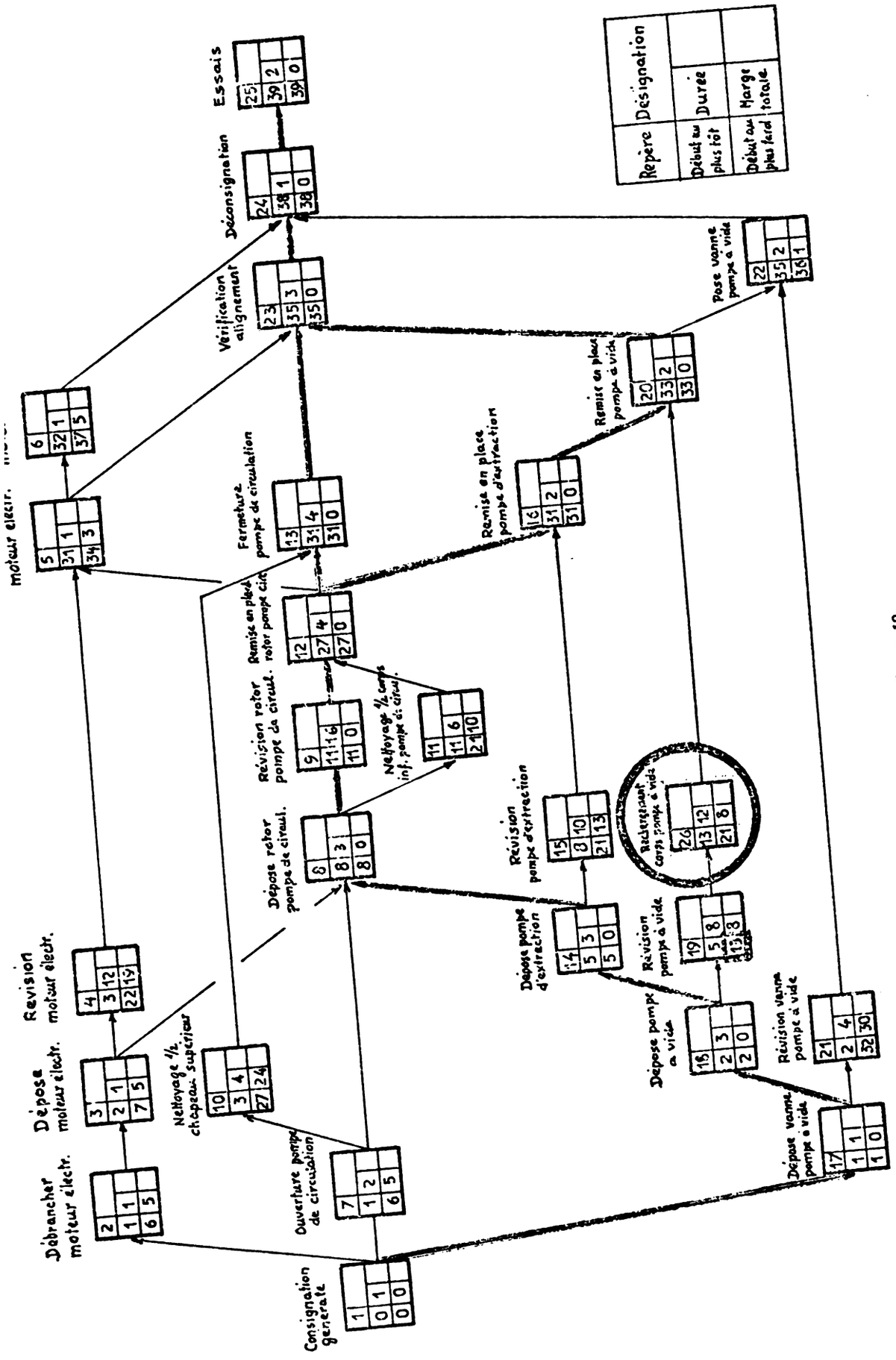

Repère
Désignation
Début au plus tôt
Durée
Début au plus tard
Marge totale
Consignation generale
Débrancher moteur electr.
Dépose moteur electr.
Revision moteur electr.
moteur electr.
Nettoyage 1/2 chapeau superieur
Ouverture pompe de circulation
Dépose rotor pompe de circuit.
Revision rotor pompe de circuit.
Nettoyage 1/2 corps inf. pompe de circuit.
Remise en place rotor pompe circ.
Fermeture pompe de circulation
Vérification alignement
Déconsignation
Essais
Dépose pompe d'extraction
Revision pompe d'extraction
Remise en place pompe d'extraction
Dépose pompe a vide
Revision pompe a vide
Nettoyage corps pompe a vide
Remise en place pompe a vide
Dépose vanne pompe a vide
Revision vanne pompe a vide
Pose vanne pompe a vide

Figure 12.

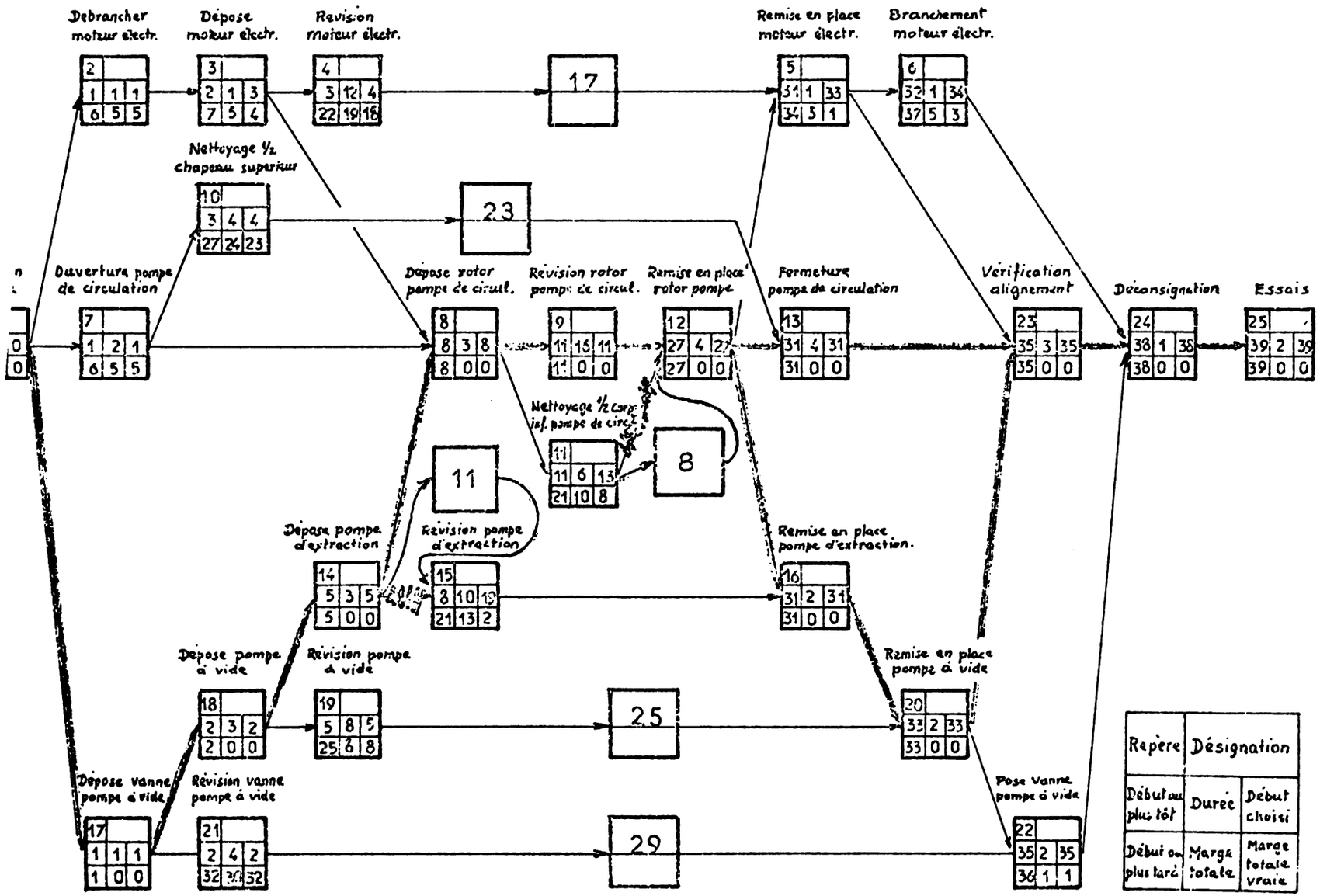

Débrancher moteur électr.
Dépose moteur électr.
Révision moteur électr.
Remise en place moteur électr.
Branchement moteur électr.
Nettoyage ½ chapeau supérieur
Ouverture pompe de circulation
Dépose rotor pompe de circul.
Révision rotor pompe de circul.
Remise en place rotor pompe
Fermeture pompe de circulation
Vérification alignement
Déconsignation
Essais
Nettoyage ½ corps inf. pompe de circ.
Dépose pompe d'extraction
Révision pompe d'extraction
Remise en place pompe d'extraction.
Dépose pompe à vide
Révision pompe à vide
Remise en place pompe à vide
Dépose vanne pompe à vide
Révision vanne pompe à vide
Pose vanne pompe à vide
Repère
Désignation
Début au plus tôt
Durée
Début choisi
Début au plus tard
Marge totale
Marge totale vraie

Figure 12

A titre d'exemple, nous pouvons nous poser deux questions :

a) Un incident imprévu, découvert sur la pompe à vide retardera-t-il la durée du projet ?

Réponse : marges (fig.12).

b) On veut repeindre l'ensemble sans rallonger le projet. Est-ce possible ?

Réponse : temps de séchage. Reprise éventuelle du tableau de charge à partir du graphe rectifié (fig. 13), en ajoutant une ligne : peintre.

Quelques exemples de graphes réalisés.

- Révision d'une turbo-soufflante.
- Remplacement du moteur et du rotor du ventilateur d'une chaine d'agglomération.
- Réfection de haut fourneau.

CONCLUSIONS

Il est bien difficile en trois quarts d'heure de faire le tour d'une question aussi importante que l'utilisation de la méthode des réseaux dans l'entretien. Nous pensons qu'il faut développer les méthodes simples, les vulgariser pour les utiliser à la base et créer ainsi un esprit d'ordonnancement. De toute façon, dans la préparation du travail, l'analyse et le tableau de charge doivent être réalisés.

Le graphe n'est qu'un complément, une visualisation des contraintes que nous pensions avoir jusqu'ici présentes à l'esprit, mais que nous ne savions pas représenter.

discussion

M. SOLAND (SACILOR) - Avez-vous eu l'occasion d'utiliser un ordinateur. dans les applications que vous avez faites de la méthode de chemin critique ?

Que pensez-vous d'une telle utilisation ?

M. BRESSO - M. Sadeler a répondu en partie. Je dirai que pour utiliser un ordinateur, il faut en avoir un, et que s'il y en a un, il faut avoir un programme. Ceci étant, je pense que c'est d'abord un problème de structures, de dimensions de projet. Comme on le disait précédemment, au-dessous de 200 tâches, en définitive, j'ai personnellement toujours travaillé manuellement. Je vois et ne vois pas la limite. Si je devais opérer sur plus de 200 tâches, ce qui est déjà très lourd, je me demande ce que l'ordinateur pourrait m'apporter, mis à part le tracé du graphe, puisque finalement ce qui compte, c'est l'analyse. Or l'analyse, il faut la faire à la main, ou plutôt intellectuellement, ce n'est pas l'ordinateur qui l'apporte.

Par conséquent, c'est toujours la tête et la main qui comptent.

D'autre part, il faut bien dire que, surtout quand on n'est pas très habitué à tracer des graphes, on mène, en fait, son analyse et son tracé de graphe de front : les deux vont ensemble l'un permettant la connaissance de l'autre.

Peut-être d'autres sont-ils plus avancés que nous ne le sommes à Uckange et on pourrait poser la question à M. Sadeler.

M. SADELER - L'ordinateur en soi a été conçu pour des opérations à tâches à interconnexions plus complexes ; il exista de nombreux programes de soft-ware établis par des firmes qui vendent des ordinateurs, donc des facilités plus ou moins perfectionnées, disons plus ou moins bonnes, dans ce domaine.

Néanmoins, en ce qui concerne l'ordinateur, il faut lui accorder le crédit suivant : en présence d'opérations multiples, si en cours de route, vous êtes obligés par suite d'incidents de parcours indépendants de votre volonté, de refaire les graphes — et cela peut arriver à plusieurs reprises —, il est plus facile de faire retracer le programme par l'ordinateur que par les moyens manuels.

M. STEINES - Il a été dit que ces méthodes sont une façon de travailler. Nous sommes à un stade où nous tenons à ce que les préparations soient faites complètement. Il est logique que l'étape suivante soit d'utiliser ces préparations à faire un ordonnancement valable ; quand cet ordonnancement est simple, il ne se pose pas de questions ; quand il devient compliqué, on devrait pouvoir s'entraîner à faire des travaux de plus en plus difficiles, et qui sont d'autant plus intéressants qu'ils sont plus importants.

Ce faisant, on devrait viser les bureaux techniques d'entretien de chacun des secteurs sidérurgiques.

Quand il y aura de plus gros travaux, on se fera vraisemblablement aider et je pense qu'après certaine expérience, se fera sentir la nécessité d'utiliser l'ordinateur, mais il ne peut pas être question d'y aller d'emblée.

Je note avec soin que cette façon de travailler apparait pratique ; on avait tendance à ne l'utiliser que pour les travaux neufs ; il est évident que, dans les travaux d'entretien un peu complexes, elle rend des services, elle évitera des oublis, des chevauchements, des retards, donc il faut chercher à l'utiliser et à l'appliquer dans les étapes suivantes.

Recueil des communications présentées aux 10es Journées des Aciers Spéciaux

(Nantes, 13-15 mai 1971)

Les numéros de décembre 1971 de la *Revue de Métallurgie* et des *Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie* sont consacrés aux communications présentées aux 10es Journées des Aciers Spéciaux, organisées par le Cercle d'Etudes des Métaux et la Société Française de Métallurgie.

Les deux fascicules ont été assemblés en un seul, envoyé gracieusement à tous les participants inscrits à ces Journées.

Il est en outre possible d'acquérir ce numéro en s'adressant à la *Revue de Métallurgie*, 47, rue Boissière, Paris 16e, tél. 553-81-30.

Prix de vente :

France . . . . . 25 F franco t.t.c.

Etranger . . . . . 30 F franco

Voici le sommaire du numéro :

G. MURRY. — Proposition d'une méthode quantitative d'exploitation des résultats des études de transformation des aciers en refroidissement continu.

J.P. THEVENIN, G. BARREAU, G. CIZERON, P. LACOMBE. — Stabilité de la phase austénitique obtenue par cyclage des aciers maraging à 18 % de Ni.

J.M. HAUDIN, G. FRADE. — Etude structurale des phénomènes de durcissement d'un acier austéno-martensitique contenant 25 % de ferrite delta.

M. MASSIN. — Rôle des carbures complexes dans la déformation à la trempe des aciers rapides. Conception d'aciers rapides indéformables.

J. LEGRAND, M. CAPUT, C. COUDERC, R. BROUDEUR, J.P. FIDELLE. — Contribution à l'étude de la fragilisation par l'hydrogène d'un acier austénitique stable.

Mme S. BOUQUET-MAILLE, B. DUBOIS. — Etude par mesures d'amortissement interne du revenu des aciers martensitiques à 13 % de chrome.

J. DAVIDSON, Y. HONNORAT, P. BELIN. — Quelques aspects de la fatigue à chaud d'un alliage super-réfractaire à base de nickel, l'ATGW2.

M. SLESAR, B. STEFAN, P. MAREK. — Rôle de la cémentite sur l'amorçage de la rupture fragile des aciers doux.

Mlle M.T. LEGER, J.P. AYMARD. — Contribution à l'étude métallurgique de l'acier moulé du type maraging.

J. BRISSON, Ph. MAYNIER, J. DOLLET. — Etude de la dureté sous cordon des aciers au carbone et faiblement alliés.

L. PASCAREL, M. HUBERT, C. MESSAGER. — Aspects particuliers de la fissuration à chaud par soudage d'aciers austénitiques. Influence de l'azote.

T. TSUK, M. HUBERT, C. MESSAGER. — Influence de l'énergie thermique de soudage sur la ferrite résiduelle de dépôts d'aciers austénitiques au chrome-nickel.

G. BERGER, A. GAULT, G. GUNTZ, A. SULMONT. — Intérêt d'une méthode de cotation micrographique pour l'étude d'un problème d'inclusions dans des tubes en acier inoxydable.

E. SAMOUILLÉ, H. BERNE, G. ODIN. — Description d'un test d'aptitude au décolletage.

Les communications de :

G. MALOT, G. ABADIE. — Influence des techniques d'élaboration sur la tenue en fatigue des aciers faiblement alliés au nickel-chrome-molybdène traités à très haute résistance.

J.L. CASTAGNÉ, J. SEGUIN, F. DUFFAUT. — Mise au point d'une nuance base cobalt à caractéristiques mécaniques très élevées.

ne nous sont pas parvenues.

entretien programmé des instruments de mesure et de régulation

J. Burton
S.A. COCKERILL (Seraing)

Communication présentée à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

Lors d'une conférence donnée à la Société Américaine des Mécaniciens, sur le thème « Où mène l'Automation ? », le directeur général d'une des plus grandes sociétés de régulation des Etats-Unis disait : « Les laminoirs modernes peuvent facilement produire de la tôle à la cadence de 1 500 mètres par minute. Combien de forgerons, pensez-vous, faudrait-il mettre au travail pour produire la même quantité de tôle à la main ? »

Nous dirons au moins 50 000 forgerons, pour fixer les idées. Un laminoir moderne emploie aujourd'hui environ 10 ouvriers. Comparé à la main-d'œuvre nécessaire pour la même production, l'avantage technique est fantastique : dans la proportion de 1/5 000.

On peut certes expliquer ce gain énorme par le fait que les engins de production modernes sont de capacité gigantesque. Mais ce que l'on oublie trop souvent, c'est que la conduite de tels engins n'est possible que parce qu'ils sont équipés d'instruments de mesure et de régulation. C'est en effet grâce à eux que l'on peut atteindre les techniques évoluées que nous connaissons à l'heure actuelle, qu'il est possible d'accroître la productivité et de réaliser des produits de qualité, tout en réduisant le coût de la main-d'œuvre, des matières premières et de l'énergie.

Ce que l'on oublie aussi trop souvent, c'est que si l'automation réduit de façon considérable les tâches élémentaires et la participation à la production, elle augmente forcément le nombre de techniciens spécialisés, encore que cette augmentation se fasse dans une proportion nettement moindre.

Si nous reprenons à notre compte l'exemple du laminoir, dont le fonctionnement n'exige que 10 ouvriers, que feraient ces 10 hommes s'ils n'étaient secondés notamment par des techniciens en instrumentation et en automation ?

On ne devrait donc pas s'étonner de voir augmenter les dépenses en main-d'œuvre et en matières de ce service que l'on nomme encore trop souvent « auxiliaire ».

Bien que le budget annuel d'un service d'instrumentation et de régulation ne représente en moyenne que 6 % du coût total de l'entretien d'une usine, cette dépense est constamment jugée trop élevée par les responsables de la production. Pour eux, l'entretien des instruments coûte toujours trop cher et les dépenses que cet entretien occasionne ne se justifient pas.

Ce raisonnement parait normal dans la mesure où seules les dépenses sont facilement contrôlables. Et cependant, pour porter un jugement, il ne suffit pas de contrôler les seules dépenses, il faut les comparer avec le gain que permet de réaliser ce service. Malheureusement, ce gain — et il est bien plus important qu'on ne le croit généralement — passe inaperçu parce qu'il est noyé dans les comptes d'exploitation.

Prenons un exemple :

Il y a une dizaine d'années, l'analyse du gaz au gueulard d'un haut fourneau, lorsqu'elle était effectuée, l'était à l'aide d'analyseurs dont le temps de réponse atteignait souvent 3 minutes et la précision ± 2 % en fin d'échelle. L'entretien de tels analyseurs était réduit au minimum : de l'ordre de la demi-heure par jour.

A l'heure actuelle, les fondeurs exigent un temps de réponse extrêmement court et une précision de ± 0,1 % absolu. Pour atteindre de telles performances, il faut obligatoirement recourir à un appareillage complexe, de grande précision, exigeant même d'être installé en salle climatisée.

Il est donc tout à fait normal que pour assurer le bon fonctionnement d'une telle installation il faille augmenter le temps d'entretien. Nous resterons en deçà de la vérité en disant que pour les analyseurs d'un seul haut fourneau il passe d'une demi-heure à 4 heures, soit 8 fois plus de temps.

Mais quel est le gain qu'apporte à la fabrication l'augmentation de précision de l'analyse du gaz ? C'est ce gain que l'on devrait comparer au coût de l'entretien. S'il est supérieur aux dépenses, celles-ci sont justifiées. Dans le cas contraire, il serait normal que les fondeurs restreignent leurs exigences et admettent une précision moins grande.

Nous pourrions multiplier ces exemples, desquels il ressortirait que le coût de l'entretien dépend des exigences imposées par les services d'exploitation. Au risque de nous attirer certaines critiques de la part des responsables de ces services, nous ne pouvons nous empêcher de rapppeler que, la plupart du temps, ce sont eux qui imposent les précisions et qui exigent l'installation d'un plus ou moins grand nombre d'appareils pour la conduite des engins de production.

Il faut aussi signaler que très fréquemment les installations sont achetées « clé sur porte », sans souci de normalisation.

Très souvent aussi, le responsable du service d'instrumentation et de régulation n'est pas consulté sur la valeur technique de l'appareillage acheté et encore moins sur la façon dont celui-ci sera installé.

De telles pratiques conduisent à coup sûr à des augmentations de coût d'entretien.

Le responsable de l'instrumentation se voit confronté continuellement avec ces problèmes de coût d'entretien. De plus, il arrive qu'on lui impute les défaillances ou erreurs de montage dont il n'est pas toujours responsable.

Cela ne signifie pas pour autant qu'il ne doive pas contrôler ses dépenses et mettre tout en œuvre pour les réduire au strict minimum. Encore faut-il qu'on lui en donne les moyens, car bien des questions n'ont pas encore trouvé de réponse.

. En effet :

— Est-il possible et rentable de normaliser les instruments de mesure et de régulation ?
— Comment peut-on apprécier la valeur technique de cette instrumentation ?
— Faut-il en assurer l'entretien préventif ?
— Si oui, de quelle façon faut-il assurer cet entretien ?
— Quelle doit en être la fréquence ?
— Combien de personnes faut-il affecter à l'entretien ?
— Quel doit être le niveau de formation du personnel ?
— Comment faut-il répartir les tâches d'entretien ? Etc.

Dans un article publié en octobre 1967 par la revue *Mesures*, nous nous sommes efforcé d'apporter des éléments de réponse à ces diverses questions. Nous signalions notamment que, pour nous, l'entretien préventif est nécessaire et rentable à condition qu'il soit exécuté sans excès et de façon rationnelle et que les dépenses en main-d'œuvre et en matières soient surveillées de près et contrôlées.

Cependant, cette façon de voir, bien qu'admise par beaucoup, ne l'est pas par tous.

Certains considèrent que l'entretien préventif ne se justifie pas. D'autres préconisent le remplacement des pièces en cas de pannes, c'est-à-dire une politique très large de pièces de rechange.

Certains vont jusqu'à estimer le nombre de techniciens à affecter à l'entretien de l'instrumentation en fonction de la production de l'usine, alors que les appareils fonctionnent toujours à la même cadence, que la production soit maximale ou ralentie.

D'autres enfin estiment que l'entretien doit être nul sur les appareillages momentanément à l'arrêt, alors que de nombreuses expériences vécues sem-

blent prouver qu'un instrument à l'arrêt pendant quelques mois subit beaucoup plus de dommages que s'il était resté en fonctionnement.

En résumé, chacun donne son avis, suggère des recettes, compare ce qu'il fait avec ce qui se fait ailleurs, mais il n'en ressort aucune politique commune qui soit admise par tous. Cela est dû à ce que, en sidérurgie en tout cas, nous manquons d'études précises sur les différents modes d'entretien. La preuve en est donnée par le fait que ce problème est au programme de multiples commissions et organismes depuis plusieurs années déjà. Il importe donc de faire quelque chose si nous voulons avoir suffisamment d'éléments pour justifier la politique suivie ou revoir totalement celle-ci.

C'est pourquoi, vu le nombre de questions à résoudre et la grande variété des appareillages à étudier, il nous a paru indispensable de faire appel aux services mécanographiques, dont l'aide peut nous être très précieuse dans ce domaine.

Nous n'avons pas la prétention d'apporter la solution idéale, mais nous pensons que l'application mécanographique dont nous présentons les grandes lignes est susceptible d'apporter de nombreux éléments de réponse aux questions que nous nous posons tous.

Précisons que cette application mécanographique, dont la programmation vient d'être terminée, sera, nous l'espérons, mise très prochainement en service pour le suivi d'environ 10 000 appareils. Elle pourrait, bien entendu, être étendue à un nombre plus important d'appareils de mesure et de régulation, ou encore à des appareillages d'autres genres.

Pour réaliser cette mécanisation, nous avons dû, préalablement :

1. Localiser les appareils.

Toute intervention implique d'une part que l'on connaisse la localisation de l'appareil à entretenir ou à dépanner ; d'autre part que l'on sache à quel centre de coût il faut imputer les frais occasionnés par cette intervention.

Dans ce but, comme le montre le *tableau I*, chaque division est codifiée avec ses secteurs et sous-secteurs divisionnaires.

La subdivision ainsi réalisée est liée au plan comptable de la division de production. Elle peut, dans certaines limites, être différente d'une division à l'autre, suivant le niveau de dégroupement souhaité par son responsable.

2. Classer les appareils.

Afin de programmer l'entretien et de pouvoir apprécier la valeur technique de l'appareillage installé, celui-ci a été classé comme le montre le *tableau II*, en trois niveaux :

— *Le genre*, qui tient compte de la fonction assurée par l'appareil. Par exemple : les mesures de pressions, de niveaux, de débits, de températures, etc. sont des genres bien distincts.

— *Le type*, qui tient compte du principe de mesure mis en jeu. Par exemple, dans le cas des mesures de pressions, les tubes en U, les pressiomètres dérivant du tube en U, les pressiomètres à déformation de solide constituent des types différents.

TABLEAU I : Exemple de localisation des appareils.

Départements ou Divisions	Code	Secteurs divisionnaires	Code	Sous-secteurs divisionnaires	Code
Centrale électrique Seraing 2	3	Chaudières	03	Manutention combustibles	01
				Epuration des eaux	02
				Circuit eaux condensées	03
				Permutation - Distillation	04
				Déminéralisation	05
				Chaudière n° 1	06
				Chaudière n° 2	07
				Chaudière n° 3	08
				Chaudières (basse pression)	09
				Distributeur de vapeur	10
		Centrale électrique	04	Machines soufflantes 1 à 7	01
				Alternateurs 1 à 7	02
				Surchauffeurs 1 et 2	03
				Centrale	04
		Centrale chaudières	05	Installations communes	01

BLEAU II : Exemple de codage des appareils.

Genres		Types		Variétés	
Code	Libellé	Code	Libellé	Code	Libellé
001	Contrôle pressions, dépressions et pressions différentielles	01	Tubes en U	01 02 03	Simples A branches inégales A branche inclinée etc.
		02	Pressiomètres et déprimomètres dérivant du tube en U	01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11	Indicateurs à flotteur Enregistreurs à flotteur Indicateurs à cloche Enregistreurs à cloche Indicateurs à tore pend. Enregistreurs à tore pend. Indicateur Multiplex Enregistreur Multiplex Micromanomètres à flotteur Micromanomètres « ASKANIA » Baromètres à mercure etc.
		03	Pressiomètres et déprimomètres à déformation de solide	01 02 03 04 05 06 07 08 09 10	Indicateur à tube de Bourdon cl. > 1 Indicateur à tube de Bourdon cl. < 1 Indicateur à soufflet Indicateur à capsule Indicateur à membrane Enregistreur à tube de Bourdon Enregistreur à soufflet Enregistreur à capsule Enregistreur à membrane Enregistreur Multiplex etc.

La variété, qui tient compte de la technologie de l'appareil. Par exemple, toujours dans le cas des mesures de pressions, le manomètre à membrane est une variété de pressiomètre à déformation de solide.

De plus, il a été tenu compte de la conception de ique appareil. Par exemple, nous avons fait la tinction entre les appareils mécaniques, pneumaues, hydrauliques, électriques, électroniques, chimies, physiques, etc. Cette classification par concepn a été réalisée dans le but de déterminer, à partir statistiques établies sur ce critère, le nombre de hniciens qu'il sera nécessaire d'affecter à chacune s disciplines.

Immatriculer les appareils.

L'entretien s'effectuant au niveau de chaque appal, tous les appareils sont identifiés par un numéro mmatriculation.

Pour notre application, comme le montre le *tableau III*, nous avons réservé des tranches de numéros d'immatriculation par genre d'appareil. Le numéro réservé à un appareil est apposé sur celui-ci.

4. Etablir le guide d'entretien.

Au niveau de chaque variété d'appareil, nous avons établi la liste des travaux d'entretien à réaliser, avec, pour chacune d'elles, la périodicité et le temps théorique à prester pour sa réalisation.

Le *tableau IV* montre, à titre d'exemple, les travaux d'entretien à assurer dans le cas d'un potentiomètre électronique à une courbe. Précisons que le temps théorique à prester, pour chaque variété d'appareils, est établi pour un travail effectué dans des conditions idéales, en laboratoire et en tenant compte que le technicien a tout l'outillage nécessaire à sa disposition.

TABLEAU III : Exemple de numérotation pour l'immatriculation des appareils.

Code genre	Libellé du genre	Tranches réservées	Nombre
001	Pressions	10 001 à 16 000	6 000
002	Niveaux	16 001 à 18 000	2 000
003	Débits	18 001 à 23 000	5 000
004	Température	23 001 à 28 000	5 000
005	Humidité	28 001 à 28 500	500
006	Masse volumique	28 501 à 29 000	500
007	Calorimétrie	29 001 à 29 500	500
etc.	etc.	etc.	etc.

TABLEAU IV : Exemple de guide d'entretien pour potentiomètre électronique à une courbe.

Code	Libellé	Périodicité en semaines	Temps théorique en minutes
1	Vérification de l'état des contacts électriques	4	30
2	Vérification mécanique. Nettoyage. Graissage. Etalonnage en montée et en descente.	12	480
3	Graissage moteur et vérification des roulements à billes	48	120

Dans les statistiques, les temps réellement prestés comprendront le travail effectif majoré du temps des déplacements. Toutefois, chaque appareil sera affecté d'un coefficient tenant compte des difficultés d'entretien et de l'ambiance dans laquelle il est placé. Il sera ainsi possible à la mécanographie d'établir les écarts entre les temps réellement prestés et les temps théoriques corrigés.

5. Recenser les appareils suivant leur origine.

C'est-à-dire en reprenant :

— le nom et l'adresse du constructeur,

— le nom et l'adresse de son représentant,

— l'année de mise en service de l'appareil.

Examinons maintenant comment seront exploités ces fichiers de données :

Les documents d'entretien.

Chaque semaine, le service mécanographique nous fournira les documents d'entretien pour les appareils dont la périodicité d'entretien arrive à échéance.

Nous avons eu le souci :

— de faire établir ces documents en période non prioritaire de l'ordinateur, pour en réduire le coût ;

— de regrouper les travaux d'entretien par localisation afin de réduire au minimum les déplacements du personnel.

Le *tableau V* montre l'un de ces documents, qui comprend deux parties :

— la première, complétée par l'ordinateur, contient les renseignements nécessaires pour assurer l'entretien ;

— la seconde est à compléter par la maîtrise ou directement par le personnel chargé de l'entretien.

On remarquera que si l'entretien est exécuté, il suffira de noter :

— le nombre d'exécutants,

— le temps total de la prestation.

Si l'entretien n'est pas exécuté, le personnel en indiquera le motif. Dans ce cas, la maîtrise prendra la décision :

— soit de reporter ce travail à la semaine suivante,

— soit de l'annuler.

En fin de semaine, ces documents d'entretien donneront lieu à la perforation de cartes mécanographiques qui seront exploitées par l'ordinateur.

TABLEAU V : Exemple de document de maintenance.

Informations fournies au personnel d'entretien	Codes
N° de repère du service d'entretien	.....
N° de semaine d'entretien	.....
Localisation de l'appareil	.....
N° d'immatriculation de l'appareil	.....
Conception de l'appareil : Genre	.....
Type	.....
Variété	.....
Référence du guide d'entretien	.....
Informations recueillies par le personnel d'entretien	**Codes**
Nombre d'exécutants « Equipe sectorielle »	.....
Temps presté par « Equipe sectorielle » ..	.....
Nombre d'exécutants « Equipe fonctionnelle »	.....
Temps presté par « Equipe fonctionnelle »	.....
Si sous-ensemble remplacé, indiquer son n°	.....
Si appareil ramené en atelier pour en effectuer l'entretien, le signaler ici ..	.....
Si entretien non exécuté, en préciser le motif :	
Code n° 1 : Appareil hors service	
2 : Manque de personnel	
3 : Raison de fabrication	
4 : Manque d'outillage	
5 : Manque de pièces de rechange	
6 : Raison sociale	.....

TABLEAU VI : Exemple de document de dépannage.

Informations fournies au personnel de dépannage	Code
N° de repère du service d'entretien	.....
Date d'émission du document	.....
Date de rentrée du document	.....
Localisation de l'appareil	.....
N° d'immatriculation de l'appareil	.....
Conception de l'appareil : Genre	.....
Type	.....
Variété	.....
Demandeur d'intervention :	
Code n° 1 : Service Exploitation	
2 : Service Sécurité-Hygiène	
3 : Service Entretien	
4 : Autre demandeur	
5 : Fournisseur	.....
Motif d'intervention :	
Code n° 1 : Remise en service	
2 : Mise hors service	
3 : Fonctionnement douteux	
4 : Panne intermittente	
5 : Panne franche	
6 : Cause extérieure	
7 : Contrôle de garantie	
8 : Incident Service Entretien	.....

Les documents de dépannage.

Chacun sait que le service d'instrumentation et de régulation n'a pas comme seule mission d'entretenir les appareils. Il doit aussi en assurer le dépannage, de même qu'il doit effectuer les essais, les modifications et les contrôles qui lui sont demandés par les services d'exploitation notamment.

Chaque intervention sera consignée sur un document dont un modèle est reproduit aux *tableaux VI* et *VII*. Ce document comprend également deux parties :

La première (tabl. VI), complétée par la maîtrise, comprendra les informations nécessaires au personnel chargé de l'intervention.

Outre le numéro d'immatriculation et la localisation de l'appareil, il y sera notamment consigné le demandeur d'intervention et le motif invoqué par celui-ci pour justifier sa demande.

La seconde partie (tabl. VII) est complétée par le personnel chargé de l'intervention, qui consignera entre autres le type de panne constatée et le temps presté pour effectuer le dépannage.

Si l'appareil est mis hors service, il distinguera :

— la mise hors service provisoire, en en précisant le motif ;

— la mise hors service définitive, auquel cas, outre son motif, il précisera si l'appareil est à mettre au rebut ou s'il est récupérable pour une autre application.

TABLEAU VII : Exemple de document de dépannage.

Informations fournies par le personnel de dépannage	Code
Nombre d'exécutants « Equipe sectorielle »	.....
Temps presté par « Equipe sectorielle » ..	.....
Nombre d'exécutants « Equipe fonctionnelle »	.....
Temps presté par « Equipe fonctionnelle »	.....
Si sous-ensemble remplacé, indiquer son n°	.....
Si appareil ramené en atelier pour en effectuer le dépannage, le signaler ici ..	.....
Préciser le type de panne constatée : 01 : Rien à signaler. 10 : Réparation : Usure ou vieillissement. 11 : Réparation : Cassure mécanique. 12 : Réparation : Déformation mécanique. 13 : Réparation : Encrassement. 14 : Réparation : Manque d'étanchéité. 15 : Réparation : Rupture de circuit électrique. 16 : Réparation : Court-circuit électrique. 17 : Réparation : Surcharge électrique. 18 : Réparation : Manque alimentation électrique. 20 : Remplacement pièce : Usure ou vieillissement. 21 : Remplacement pièce : Cassure mécanique. .... 30 : Remplacement sous-ensemble : Rupture circ. élec. 40 : Réétalonnage : Hors tolérances. 41 : Réétalonnage : Mise en service. 50 : Vérification de fonctionnement : Hors tolérances. 51 : Vérification de fonctionnement : Mise en service.	.....
Si appareil mis hors service, préciser : — Si mise hors service provisoire : 0 : Arrêt de fabrication. 1 : Révision extraordinaire (retour au constructeur). 2 : Modification étendue de mesure. 3 : Manque de pièces de rechange. — Si mise hors service définitive : 4 : ou 7 : Suppression d'install. (Arrêt définitif). 5 : ou 8 : Déclassement pour vétusté. 6 : ou 9 : Imposs. d'adapt. à nouv. mesure demandée. → avec récupération possible. → avec mise au rebut.	.....

Comme pour les documents d'entretien, en fin de semaine, les documents de dépannage donneront lieu à la perforation de cartes mécanographiques qui seront exploitées par l'ordinateur.

●

Examinons pour terminer les états statistiques que nous pourrons obtenir après traitement des cartes mécanographiques.

Lorsque nous avons examiné ce problème, nous nous sommes rendu compte qu'il était possible d'obtenir pratiquement tous les renseignements que nous voulions. Toutefois, dans un premier stade, nous nous sommes limité à :

Un état statistique mensuel des temps prestés pour l'entretien et le dépannage éventuel. Ces temps sont dégroupés :

— par localisation, autrement dit par centre de coût ou de facturation ;

— et, pour chaque localisation, par genre d'appareil, lequel, rappelons-le, tient compte de la fonction assurée par celui-ci (pressions, niveaux, débits, etc.).

Un état statistique semestriel des temps prestés pour l'entretien et le dépannage éventuel de chaque appareil. Cet état est dégroupé, cette fois-ci, par variétés, tous les appareils d'une même variété étant ensuite dégroupés par localisation.

Ces états statistiques nous donneront également pour chaque appareil :

— les temps réellement prestés pour l'entretien,

— les écarts entre ces temps et les temps théoriques,

— le coefficient de difficulté et d'ambiance, lequel pourrait justifier certains écarts,

— les raisons pour lesquelles l'entretien n'aurait pas été exécuté,

— la répartition des heures prestées par les diverses disciplines (mécanique, pneumatique, électronique, etc.), ce qui sera très utile pour l'affectation du personnel aux diverses tâches d'entretien et de dépannage.

De plus, nous connaîtrons pour chaque appareil :

— le nombre de dépannages effectués,

— le temps presté pour chaque dépannage,

— les raisons pour lesquelles il a fallu exécuter ces dépannages.

Ces raisons seront particulièrement intéressantes à examiner, car elles permettront notamment :

— de contrôler la validité des fréquences d'entretien. Ne dit-on pas que le taux de dépannage constitue le thermomètre du taux d'entretien ?

— de poser un diagnostic précis sur le matériel installé en en faisant ressortir les défaillances. Ce diagnostic pourrait même conduire à faire remplacer tel ou tel appareil dont le coût d'entretien ou de dépannage est supérieur au prix d'achat d'un nouvel appareil ;

— de chiffrer l'importance des intervention tifiées. Ces interventions sont souvent p tantes qu'on ne le pense généralement, part du temps c'est la validité des me l'on met, en premier lieu, en doute défaillance se produit sur un engin de p

Terminons cet exposé, volontairement en précisant que nous envisageons de com états statistiques en y incluant les dépens tières diverses et en pièces de rechange loin d'être négligeables dans le coût total tien et du dépannage des instruments de de régulation.

discussion

M. de PEMILLE (A.T.S.) - L'organisation du traitement par la mécanographie de l'entretien des appareils de mesure et de régulation tel que vous l'avez étudié pour votre service a-t-elle déjà été précédée dans d'autres domaines (mécanique, électrique...) de réalisations fonctionnant actuellement à Cockerill ou ailleurs ? Si oui, peut-on avoir un avis sur l'exploitation des résultats dégagés ?

M. BURTON - En réponse à votre première question, il n'existe pas de système programmé de ce genre à la Société Cockerill, mais tel qu'il a été étudié avec les membres de notre service mécanographique, le système prévu pour les instruments de mesure pourrait être facilement adapté pour le suivi d'autre matériel et notamment le matériel mécanique et électrique.

En réponse à votre seconde question, à savoir s'il existe une telle organisation dans d'autres usines, nous nous sommes bien sûr renseignés à ce sujet auprès de nos collègues de la sidérurgie et dans d'autres industries, mais à notre connaissance une telle programmation n'existerait pas encore, à l'heure actuelle en tout cas.

M. CHEVALIER (SACILOR) - Combien de temps avez-vous passé à la mise au point des documents, des inventaires, de l'application pratique ? Quels moyens (en personnel) cela a-t-il nécessité ?

M. BURTON - Avant de répondre dans le détail à vos questions, il nous paraît utile de rappeler que ce projet de traitement mécanographique nous préoccupe depuis de nombreuses années déjà et que, si nous n'avons pu le concrétiser plus tôt, c'est parce que notre service étant en continuelle expansion par suite des installations nouvelles dont nous devions nous préoccuper.

Néanmoins, dans le but de réaliser un tel traitement mécanographique lorsque l'occasion nous en serait donnée, nous avions depuis longtemps déjà rassemblé les documents qui seraient nécessaires à ce traitement mécanographique.

Nous répondrons donc tout d'abord à votre deuxième question qui concerne les moyens en personnel nécessités par le rassemblement des documents.

En fait, nous n'avons pas eu à prévoir un supplément de personnel pour ce travail, celui-ci ayant été effectué au jour le jour par le personnel chargé de l'entretien et nage des instruments.

En ce qui concerne la première question relativ presté pour la mise au point des documents et taires, nous précisons que ce travail s'étant éc de nombreuses années, c'est l'expérience acqui pulsation des documents des divers fabrica enquêtes menées auprès de nos collègues, et ceux de l'A.T.S., qui nous ont permis d'établi d'entretien par type d'appareil, lequel guide périodes d'entretien préventif et les temps th prester pour chaque type d'entretien. En ce qu l'inventaire du matériel, celui-ci a été complété à mesure de l'achat et de l'installation du nouve Nous pensons d'ailleurs que chaque service d'i tion dispose d'un tel inventaire.

Enfin, en ce qui concerne l'application théorique tement mécanographique, nous avons signalé exposé qu'elle n'était pas encore réalisée, un cer étant encore nécessaire.

M. ALLIOT (Société Métallurgique de Normand qui concerne la périodicité des entretiens, délivrant l'ordre des interventions périodiques, l vie d'un appareil est-elle comptée en temps si temps d'emploi réel de l'appareil et, dans cet hypothèse, comment l'ordinateur est-il inform durée de vie ?

M. BURTON - Pour nos périodicités d'entretien, considéré que les instruments de mesure, de co réglage fonctionnaient en continu, c'est-à-dire 24 24. Autrement dit, lorsque l'ordinateur délivrera interventions périodiques, la durée de vie des ap comptée en temps sidéral.

Si certains appareils devaient fonctionner de fa tinue, il serait possible d'introduire cette donnée nateur, mais cela n'a pas été prévu à l'heure

M. ALLIOT - Pendant un entretien, les vérification téristiques (en statistique et en dynamique) s aux valeurs nominales ou marginales des alime

URTON - En ce qui concerne les vérifications des téristiques, et notamment la tension d'alimentation des eils, nous distinguerons deux types de vérifications. ı vérifications sont faites en usine, elles le sont à la ın d'alimentation du réseau. Par contre, lorsque l'appa- st ramené en laboratoire, nous disposons d'un moteur rone et d'un alternateur auto-stabilisé d'une puissance kW dont la tension de sortie est réglable avec une e précision. Ce groupe nous permet d'étalonner les ments de mesure aux tensions nominales et marginales ıe cela s'avère nécessaire.

ETIT (Forges de Clabecq) - Je tiens à signaler qu'à larcinelle et Monceau, nous avons établi la program- n des entretiens électriques et mécaniques sur cartes nographiques, il y a 3 ans en électricité, et un an seu- ıt en mécanique.

lectricité, les problèmes sont plus faciles ; en méca- , c'est beaucoup plus difficile. Et nous avons eu des ats sensibles : nous avions établi au départ des entions toutes les semaines, les 2 semaines, les naines... et il s'est avéré, à la suite des informations ées à la machine, que celle-ci a décidé, au lieu de ournir ces informations tous les 15 jours, de les lui mettre chaque semaine et même davantage ; chaque qu'on procède à une intervention d'entretien, on informe la machine de ce que l'on a trouvé, ce qui permet de prévoir des opérations d'entretien dont on n'aurait pas tenu compte.

Au point de vue de ce que l'on a gagné, il faut compter sur 10 % de temps d'arrêt. On a établi des diagrammes signalant les arrêts de production, et on voit qu'on est arrivé maintenant à une stabilisation.

M. BURTON - Nous avons été informés en son temps de cette programmation réalisée à Thy-Marcinelle et Monceau. Elle a fait l'objet d'un exposé présenté au cercle des ingénieurs de notre Société Cockerill à Liège. Nous savions donc qu'il existait un programme d'entretien pour le matériel électrique, mais nous ne pensons pas que celui-ci a été réalisé également pour les instruments de mesure et de régulation.

M. PETIT - Non, cette programmation n'a pas été réalisée.

M. BURTON - Nous pensons que nous avons en effet abordé un problème difficile par la complexité que représentent les instruments de mesure, les ensembles de régulation et les sous-ensembles. C'est pourquoi nous croyons, comme nous l'avons dit, que ce système mécanographique, lorsqu'il aura été bien rodé, pourrait être aisément transposé pour les appareils mécaniques et électriques notamment.

Délégation générale à la recherche scientifique et technique

Rapports des résultats des recherches menées sous contrats d'action concertée

Les rapports qui sont signalés dans cette rubrique peuvent être consultés à la bibliothèque du Centre de Documentation du CNRS, 15, quai Anatole-France, Paris-7e.

Le Centre de Documentation du CNRS assure aussi, à la demande, la reproduction des rapports soit sous forme de micro-fiches au prix de 10 F par micro-fiche (chaque micro-fiche contient jusqu'à 20 pages de texte), soit sous forme de photocopie au prix de 10 F par article de 10 pages et par fraction supplémentaire de 10 pages.

Paiement au CCP 9.131.62 ou par chèque bancaire établi au nom du Centre de Documentation du CNRS.

Métallurgie.

GIVORD (J.P.). — Ugine Kuhlmann, 73 - Venthon.

Etude des relations existant entre la structure métallurgique et les propriétés supraconductrices dans le cas des alliages niobium-hafnium.

Contrat n° 67-00-613, 1969, in-4°, 46 p., 25 pl. h.t., 3 dpl. h.t., bibl. (22 réf.).

Mise au point des méthodes d'élaboration : fusion à l'arc et fusion par bombardement électronique. Principales difficultés : inclusions et pertes de matière par volatilisation. Traitements mécaniques à chaud et à froid. Composition chimique des produits obtenus. Diagramme d'équilibre, transformations de phases, phases métastables, influence de C et N. Propriétés supraconductrices champ critique sup. et intensité critique en fonction du champ.

BOURGEOT (J.), MANENC (J.), THIVELLIER (D.), THOMAS (B.). — Institut de Recherches de la Sidérurgie Française — 78 - Saint-Germain-en-Laye.

Etude du durcissement d'alliages martensitiques Fe-Ni-Mo et Fe-Ni-Nb.

Contrat n° 69-01-641, décembre 1970, in-4°, pag. multiple (60 p.), 39 pl. h.t., 1 dpl. h.t., bibl.

Durcissement par revenu isotherme au-dessus de 400°C d'alliages ternaires Fe-Ni-Mo et quaternaires Fe-Ni-Co-Mo et Fe-Ni-Cr-Mo. Nature des précipités (diffraction RX et microscopie électronique). Augmentation du durcissement par remplacement de Ni par Cr. Influence de la température et du temps de vieillissement sur le durcissement des alliages Fe-Ni-Nb. Etude dilatométrique, essais de traction, mesures de dureté. Effet d'additions de Ta, Al, Mo, Tl, Mn.

FAYARD (M.). — Ecole Nationale Supérieure de Chimie, Paris.

Propriétés mécaniques d'alliages L I_2.

Contrat n° 67-00-903, janvier 1971, in-4°, 10 p., 2 pl. h.t.

Etude des alliages Ni_3Fe polycristallins : déformation par traction ; effet de la mise en ordre à courte et longue distance ; étude par rayons X et microscope électronique de l'ordre et du mécanisme de déformation (lignes de glissement).

la tribologie, problèmes et techniques qu'englobe ce terme, et qui concerne, en particulier, l'entretien

R. Lefèvre
Ingénieur Conseil à l'Association Technique de la Sidérurgie

Communication présentée à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972, par l'Association Technique de la Sidérurgie.

PROBLÈMES ET TECHNIQUES RELEVANT DE LA TRIBOLOGIE

Les problèmes relevant de la tribologie pure, comme ceux relevant de la tribotechnique, sont difficiles à résoudre, en raison de l'insuffisance de nos connaissances sur la mécanique des surfaces : diminution des efforts de frottement, protection contre le grippage et, en général, contre la destruction des états de surface, notamment sous faibles vitesses et pressions de contacts variées. C'est dans le domaine des très petites vitesses que les lubrifiants liquides et plastiques sont impuissants à jouer un rôle valable ; seuls, les lubrifiants solides et les transformations de surface peuvent résoudre les problèmes posés.

Lorsque les vitesses s'élèvent ($V \geqslant 0{,}02$ m/s), les lubrifiants liquides ou plastiques entrent en jeu, mais un surcroit de sécurité n'est pas à rejeter, en considérant, par exemple, les transformations des surfaces frottantes.

Avant d'aborder l'examen de ces problèmes, il convient de poser deux questions :

1. La tribologie est-elle vraiment un facteur de progrès, compte tenu de ceux réalisés, tant sur les matériels que sur les lubrifiants ?

L'accroissement continu des puissances massiques a masqué les progrès faits par les constructeurs, progrès juste suffisants pour assurer le fonctionnement correct, sous contraintes accrues (taux de travail, vitesses, pressions spécifiques, températures). Les contraintes superficielles se répercutent en profondeur, et la connaissance de la structure cristalline de la couche sous-jacente (ou derme) prend une importance croissante, surtout pour la prévision des phénomènes de fatigue.

En dehors du cas particulier des moteurs à combustion interne, les progrès réalisés sur les lubrifiants ont surtout visé l'amélioration de la tenue aux hautes températures ($\geqslant$ 120°C en continu, avec pointes répétées à 150°C) et la protection des surfaces frottantes contre l'usure ; le fonctionnement sous des

conditions de plus en plus sévères n'a permis d'enregistrer des gains appréciables sur la vitesse d'usure que dans un nombre de cas limité. Les lubrifiants classiques n'ont pu garantir contre le grippage plus ou moins prononcé, lorsque leur débit était, localement, insuffisant ou nul. Ces progrès sur les lubrifiants, qui ont coûté de longs efforts aux chercheurs, peuvent paraître modestes, alors qu'ils sont relativement importants puisqu'ils ont permis de suivre l'évolution des conditions de fonctionnement des mécanismes ; si l'intervention de fluides de synthèse peut permettre d'élargir la gamme des températures de service, elle ne permettra que peu de possibilités nouvelles quant au frottement et à la protection des surface en mouvement. Le lubrifiant liquide ou plastique ne peut présenter, seul, les garanties nécessaires à une solution correcte, et la tribotechnique doit intervenir en introduisant la transformation des surfaces par lubrifiant solide ou par traitement thermo-chimique. Sauf exception, la solution sera recherchée dans cette combinaison.

Les exceptions concernent les mouvements à très faible vitesse et de faible ou moyenne amplitude, qu'il s'agisse de contacts superficiels, ponctuels ou linéaires ; dans ces cas précis, le lubrifiant ne peut avoir d'action que s'il est préalablement adsorbé sur les surfaces, ou si l'une des surfaces est traitée pour être antigrippante, à très faible effort de frottement.

2. Qui, du constructeur de matériels, du producteur de lubrifiants, ou de l'utilisateur, doit assurer la maîtrise des travaux de tribotechnique ?

L'idéal serait que l'étude tribotechnique de la machine commence lors de la mise au point du projet et que l'utilisateur soit consulté, avant mise à exécution ; sauf exceptions (industrie nucléaire, industrie de la machine-outil spéciale) ce n'est pas encore du domaine des réalités courantes.

L'utilisateur, possédant une expérience pratique non négligeable, est directement intéressé par la solution économique d'un problème ; par ailleurs, si l'on considère la trilogie « constructeur de matériels-producteur de lubrifiants-utilisateur », ce dernier est le seul qui, par sa position même, est condamné à des dépenses continuelles (fournitures, énergie, main-d'œuvre), dont une partie seule est remboursable sous forme de services rendus. C'est donc, pour lui, l'évidence même que de chercher à réduire la part non remboursable. Il est évident qu'il lui appartient de traiter des problèmes de frottement et d'usure, tout comme il l'a déjà fait pour les problèmes de graissage, dont c'est le complément logique ; si des concours extérieurs sont offerts à l'utilisateur, ce dernier doit néanmoins demeurer le maître d'œuvre.

Qu'il me soit permis de rappeler que, dans le cas de l'étude d'ensemble du graissage, en voie d'achèvement, on a pu réaliser, sur le seul plan des lubrifiants :

— une réduction sensible du nombre des produits utilisés dans les usines (en moyenne dans un rapport voisin de 3 à 1) ;

— un manque à payer annuel voisin de 10 MF par abaissement du prix des lubrifiants, sans modification de la qualité, du fait des spécifications techniques ; la baisse des prix s'est stabilisée depuis dix ans (1962), au minimum.

NATURE DES PROBLÈMES

Il s'agit essentiellement des problèmes intéressant les surfaces, en relation avec les régimes de graissage ; actions de contact et températures interviennent également. Le problème principal concerne les surfaces, d'abord depuis leur création jusqu'à leur accommodement, puis la conservation de celles-ci : protection contre l'usure et les avaries superficielles, quelles que soient les conditions imposées pour le fonctionnement. Ceci conduit à une série d'études résumées ci-après, qui aboutissent à celle des procédés de protection des surfaces frottantes.

Un problème qui peut paraître, *a priori*, secondaire, concerne l'origine des pertes d'énergie, dont certaines peuvent surprendre, mais qui, exprimées en kWh, forment un total qui est loin d'être négligeable. L'indication des solutions possibles montrera la variété des techniques utilisables ; on verra qu'elles dépendent, en très grande majorité, de l'entretien.

SURFACES

L'exécution des pièces mécaniques peut être réalisée de deux façons : par formage ou par enlèvement de matière ; dans l'état actuel des techniques de fabrications industrielles, le formage peut, dans le cas le plus favorable, fournir une ébauche suffisamment précise pour que l'enlèvement de matière soit réduit au minimum posible (rectification), mais le plus souvent l'usinage par enlèvement de matière demeure la règle. Les techniques particulières, telles que l'extrusion de précision et l'électro-érosion, ne concernent encore que très peu de pièces mécaniques, généralement exécutées dans des métaux spéciaux. Or, l'enlèvement de matière s'obtient par arrachement (décohésion), qu'il s'agisse d'un outil coupant ou de grains d'abrasifs. Au voisinage de la surface, la structure cristalline est profondément modifiée, les cristaux sont détruits ou fragmentés et il y a formation d'une couche superficielle de caractère amorphe, avec perturbations plus ou moins profondes des couches sous-jacentes (désorientation, fissuration) selon la profondeur de passe et l'avance de l'outil.

La surface est couverte de stries inégales, en relation avec les dimensions de l'outil et la manière dont progresse la crique de décohésion. La finesse relative

des passes de finition permet de diminuer la valeur des aspérités superficielles, mais n'apporte pas d'améliorations sensibles aux perturbations de structure préexistantes. L'épaisseur de la couche amorphe superficielle (couche de Beilby) varie de 10 à 500 Å selon le mode d'usinage ; celle de la couche perturbée peut varier de 1,5 à 80 μ, toujours selon le mode d'usinage Seuls, le polissage électrolytique et l'électro-érosion ne conduisent pas à la formation des deux couches perturbées signalées.

Par contre, l'usinage brutal peut, en plus d'une couche désorientée d'épaisseur supérieure à 150-200 μ, entraîner l'amorce de microfissures ; dans le cas de pièces devant subir des flexions rotatives ou des flexions alternées, certaines de ces microfissures peuvent parfaitement servir d'amorce pour des ruptures par fatigue. Seul, un recuit de restructuration avant finition, possible pour des pièces de formes simples, permettra de diminuer considérablement la couche sous-jacente perturbée et de la ramener à moins de 5 μ après rectification finale.

La surface d'une pièce ne peut être définie du seul point de vue dimensionnel, les calibres classiques prenant appui sur les sommets des aspérités d'une part et, d'autre part, ne tenant pas compte des erreurs de profils (cycliques ou non) résultant de l'imprécision relative des machines outils ; si l'on admet qu'un contrôle métrologique correct permet d'éliminer les erreurs de profils ou de les maintenir dans des limites acceptables, il demeure qu'il faut définir la microgéométrie de la surface.

Les aspérités (ou rugosités) qui caractérisent l'état d'une surface peuvent avoir de 50 à 0,5 μ, selon qu'il s'agit d'usinage courant ou de lapping (procédé de superfinition), en passant par des valeurs de 5 à 2 μ pour la rectification, selon la finesse de celle-ci, la superfinition mécanique par pierrage permet d'atteindre 0,1-0,05 μ et le polissage électrolytique, des rugosités voisines de 0,01 μ. Ces valeurs représentent, par convention, la demi-hauteur des aspérités ; elles permettent d'avoir une idée de l'usure possible après rodage.

Il existe, à l'interface métal-air, une couche de gaz adsorbée, l'adsorption étant le fait du champ de forces superficiel des cristaux métalliques ; l'adsorption d'oxygène peut provoquer la formation d'un epilamen d'oxydes, lequel peut augmenter d'épaisseur, et constituer dans certains cas (surfaces obtenues sous vide) une couche multimoléculaire. Lorsqu'un lubrifiant est mis en présence d'une surface, l'adsorption provoque la formation d'un epilamen, avec une vitesse variable selon la nature et l'état de la surface et selon la polarité des molécules des lubrifiants ; les molécules polaires s'adsorbent perpendiculairement à la surface métallique, par leur groupe hydroxyle, l'état physique de l'epilamen monomoléculaire étant assimilable à l'état solide. Les molécules de lubrifiants ont une longueur très inférieure à la valeur des rugosités superficielle ; si l'on prend pour exemple la molécule d'acide stéarique (longueur voisine de 25 Å), on voit que pour compenser les irrégularités de surface, il faudrait dans le meilleur cas (polissage électrolytique) un film ayant une épaisseur comprise entre 4 et 60 molécules. On passe à 400-600 molécules dans le cas du honing, pour atteindre 800 à 2 000 molécules dans le cas de la rectification, selon la finesse de celle-ci. Des films contenant un tel nombre d'assises moléculaires ne sont stables que s'ils sont réalimentés ; la stabilité du film adsorbé non réalimenté ne dépasse guère 5 assises moléculaires. C'est dire qu'il y a fort peu de chances pour que, lors des déplacements relatifs de deux surfaces frottantes, leurs aspérités n'entrent pas en contact, les quelques assises moléculaires de lubrifiants adsorbées par les aspérités étant expulsées lors des contacts quasi-ponctuel sous très fortes pressions (> 20 t/cm^2).

Les aires de contact réelles ne représentent qu'une fraction très faible de la surface apparente, entre $1/10^3$ et $1/10^5$ selon la rugosité superficielle ; ces aires de contact sont également fonction de la force pressant les deux surfaces l'une contre l'autre, la déformation élastique des aspérités étant aisément obtenue.

RODAGE

Les surfaces frottantes sont donc soumises à un mutuel polissage, lequel ne consiste pas en une simple usure des points élevés ; il provoque non seulement une modification de forme, mais un profond changement de structure. Il y a accroissement des aires de contact ; c'est la période dite de « rodage », ou d'accommodement des surfaces. Il s'agit de répartir le plus rapidement possible les surcontraintes locales par des déformations judicieuses et de réaliser au mieux l'accommodement en ménageant au maximum les possibilités d'écrouissage pour le bon fonctionnement ultérieur (augmentation de durée des surfaces polies). Les aspérités se soudent, puis sont arrachées, il y a, localement, accès aux températures de fusion du métal le plus aisément fusible.

Bowden a pu mesurer et enregistrer pendant plus de 100 microsecondes, des températures voisines de la température de fusion : ces températures sont à la fois ponctuelles et limitées à la couche superficielle des métaux. L'arrachement des soudures peut créer, selon la fragilité locale, une désorientation plus ou moins profonde, les surcontraintes se répercutant sur les couches sous-jacentes dont elles peuvent accentuer la désorganisation.

Il y aura fatigue et écrouissage par contraintes cycliques du derme, donc dissipation d'énergie et résistance au mouvement, cette dernière devant diminuer à mesure que progresse l'accommodement, sans toutefois s'annuler.

De ce qui précède, on peut retenir l'intérêt :

— de disposer, à l'origine, de surfaces de faibles rugosités, avec couches désorientées d'épaisseurs

correspondantes, de manière à éliminer les effets des surcontraintes, lesquelles ne pourront jouer que sur des couches désorganisées de faible épaisseur. Le rodage de deux surfaces usinées grossièrement entraînera, obligatoirement, une usure importante, imprévisible *a priori* ;

— d'associer des surfaces de duretés différentes, de façon que la surface la moins dure puisse se polir rapidement ;

— d'associer si possible des métaux de points de fusion différents, ce qui permet de polir préférentiellement une des surfaces ;

— d'aplanir, sur une surface de faible dureté, les aspérités, par le moyen d'une opération d'écrasement (brunissage, galetage). Ceci ne peut se faire que si le métal est à la fois ductile et mou, le nivellement des aspérités étant obtenu par fluage, ce qui limite le risque de formation d'écailles susceptibles de se détacher ultérieurement ;

— de disposer à la surface d'une des pièces, une matière apte à venir « beurrer » les zones de friction intergranulaires, surtout si cette matière possède un plan de glissement préférentiel (cas d'un lubrifiant solide) ;

— d'effectuer le polissage selon une direction perpendiculaire à celle des stries d'usinage ; dans ce cas l'usure est faible. Lorsque les rayures et le glissement ont la même direction, le métal arraché peut émigrer assez loin avant d'adhérer au substratum, ou même demeurer dans l'huile et s'éliminer. Dans les deux cas, le comportement des surfaces est le même lorsque le polissage est terminé, mais l'usure est plus faible dans le premier cas que dans le second et ce, d'environ moitié ;

— de procéder à un recuit de restructuration après dégrossissage et avant finition, chaque fois qu'il est possible. Si l'usinage antérieur d'une des surfaces a détruit la structure des cristaux et si le métal est, de ce fait, trempé et durci à une distance considérable de la surface, une usure excessive peut de produire. Les soudures formées entre les aires de fluage du métal sur la surface de glissement ne se cisaillent plus au voisinage de celle-ci, mais à plus grande profondeur, près de la zone de transition entre les couches perturbées et non perturbées du métal. Il en résulte un entaillement excessif et une usure importante, même lorsque la surface originale paraissait saine ; ainsi, non seulement l'état de la surface, mais le mode d'obtention de celle-ci ont une influence sur l'usure d'ordre mécanique et physique.

Dans tout ce qui précède, aucune hypothèse particulière n'est faite quant à la qualité et au débit du lubrifiant admis entre les surfaces sauf, qu'implicitement, on élimine l'existence d'un film d'épaisseur suffisante pour séparer effectivement les surfaces, aspérités comprises. De plus, on a considéré que les actions de contact étaient superficielles, sans déformations élastiques notables des surfaces glissantes. Dans ces conditions, l'accommodement des su s'effectue sans risque sérieux de destructior états de surfaces, avec accroissement des air contact et amélioration de la tenue des su considérées.

On peut admettre, avec Bowden, que la réd des aspérités, obtenue par fusion ou ramolliss prononcé (sauf cas de fragilité superficielle mar contribue à restaurer la couche amorphe de l résultant de l'usinage, et partiellement détruit du polissage. D'après des données anciennes (mais confirmées :

1. La charge de rupture d'un film lubrifiant déte s'accroît à mesure que diminue la rugosité, d' Chrysler, et passe de 53 kg pour une rugos 0,5 μ à 98 kg pour une rugosité de 0,05 μ.

   D'après Hispano Suiza, l'absence de c de Beilby est bénéfique puisque, à rug égales (0,03 μ), la charge de rupture du fil surface polie électrolytiquement est supérieu 30 % à celle relevée sur surface superfinie niquement.

2. L'usure par unité de surface dépend du pas la surface ; Hispano Suiza et le professeur cellin ont relevé 0,19 sur éprouvettes d'acier électrolytiquement, alors qu'ils relevaient de leurs allant de 1,08 pour une rectification mo à 0,29 pour surfaces rodées, l'usure atteignar dans le cas d'usinage par chariotage.

3. L'étalement du lubrifiant est moins bon su face rodées ou polies par abrasion (pré d'une couche amorphe) que sur surface rug (rugosité 0,5 μ). En l'absence de couche de B la progression et l'adhérence sont meilleure sur surfaces rodées.

4. Hispano Suiza et Marcellin ont également m les efforts de frottement. Sur éprouvettes d' on a relevé 0,56 pour surfaces chariotées, pour surfaces rectifiées (2 μ) à 0,16 pour rec tion fine (0,5 μ), pour descendre à 0,08 su faces rodées ; sur les mêmes éprouvettes, polissage électrolytique, on trouve, dans quatre cas, 0,075. Dans le cas de très faibles citée (surfaces rodées et surfaces polies trolytiquement), on ne constate donc qu'une faible influence de la couche de Beilby, infé à 7 %. Par contre, l'influence de l'interpénét des aspérités de surfaces est manifeste, c montre l'intérêt de l'accommodement des surf

FROTTEMENT

Lorsque deux surfaces rugueuses glissent sur l'autre, la résistance au mouvement peut être buée à l'interpénétration des aspérités, et cette tance sera d'autant plus importante que les asp

seront grandes et la vitesse de déplacement faible. C'est cet aspect mécanique du problème qui donna naissance à la théorie de Bowden et Tabor ; la succession des soudures ponctuelles et des arrachements donne le mouvement saccadé que les Anglais appellent « stick-slip ». Il semble que cette théorie ne corresponde pas à la réalité, selon l'opinion d'un certain nombre de chercheurs ; bien qu'elle permette d'expliquer une partie des phénomènes, elle est loin de pouvoir tout expliquer. Elle ne permet pas, par exemple, d'expliquer la persistance de la résistance au mouvement lorsque les surfaces, après rodage ou polissage, sont démunies d'aspérités notables ; elle ne fournit pas d'explications sur la cause des différences de frottement, relativement faibles en valeur absolue, mais susceptibles d'importance variable sur les transferts métalliques, existant entre surfaces polies par abrasion (avec couches de Beilby) et surfaces polies électrolytiquement.

Par contre, d'après Caubet, elle a permis de faire un premier tri entre les couples métalliques les plus aptes au frottement de glissement, en tenant compte :

— des structures métalliques non susceptibles de donner une filiation cristalline d'un métal à l'autre,

— des filiations ne fournissant que des composés intergranulaires fragiles, donc des soudures peu résistantes, permettant un frottement par cisaillement sans transfert ni lésion, avec une faible résistance au mouvement.

La même théorie permet d'expliquer comment l'action d'un tiers corps susceptible de fragiliser les soudures permet de limiter le frottement à une valeur acceptable. Elle ne permet pas d'expliquer un certain nombre de phénomènes observés tels que : transfert du plomb ou du cuivre sur le fer, en cas de couples Fe/Pb ou Fe/Cu, faible frottement engendré par un couple Fe/Zn sans aucun transfert, frottements variables entre couples de métaux dont l'un peut exister sous plusieurs variétés allotropiques de duretés différentes, les plus faibles efforts observés correspondant aux plus grandes duretés.

En réalité, le problème est plus complexe ; lorsque deux corps de structures différentes vont frotter l'un contre l'autre, les conditions de températures et de pressions microlocalisées vont amener les atomes superficiels à s'associer. Selon la nature du couple de frottement, on obtiendra, à l'interface, toute la gamme possible qui va des composés chimiques aux mélanges mécaniques, en passant par les composés électroniques, les solutions solides désordonnées et les solutions intersticielles (Caubet).

Il y a, de plus, l'adsorption par le champ de forces superficiel de l'oxygène de l'air, et la formation encore mal connue de couches d'oxydes métalliques ; il n'y a pas épitaxie, mais prolifération de germes et accumulations de molécules d'oxydes sans structure cristalline définie, même dans le cas de films d'oxydes engendrés par frottement. Les rares formations cristallines observées concernent des films d'oxydes formés à chaud. Ce que l'on sait actuellement, c'est que le film d'oxyde est d'autant plus solide que la sous-couche est plus dure, ce qui limite les risques de rupture par déformation élastique ; on sait également que ces oxydes sont plus réfractaires que les métaux dont ils sont issus, et qu'ils forment un véritable feuilletage avec lamelles d'air intercalées, ce qui limite beaucoup la transmission de la chaleur depuis l'interface jusqu'au métal sous-jacent.

Dans le frottement à faible vitesse sous faible charge, on devra considérer seulement les oxydes qui protègent suffisamment les métaux ; les soudures se font entre films d'oxydes et les cisaillements s'effectuent à l'intérieur des mêmes films, sans arrachement de métal, avec faible usure. Lorsqu'on passe aux grandes vitesses, il y a rupture d'un des films d'oxydes, sinon des deux, et le choix des métaux devient prépondérant ; dans le domaine des vitesses intermédiaires, on devra considérer les points de fusion des quatre corps en présence (2 oxydes + 2 métaux) puisque, en principe, c'est un oxyde qui doit fondre le premier pour éviter les déformations et les transferts de métal sous-jacent. La structure feuilletée, gênant la transmission de la chaleur, augmente la température à l'intérieur de la couche d'oxyde et pourra permettre la protection du métal de base. Au-delà d'un certain seuil de charge spécifique et de vitesse, l'oxyde ne peut suffire, et il faut considérer d'autres corps plus aptes à protéger les surfaces, tels que chlorures, sulfures... ; la formation *in situ* de ces corps ne peut s'opérer que si certaines conditions de températures sont satisfaites, comme l'ont montré les travaux de Bisson (NASA) et de Knappwost (Hambourg) sur les transferts de soufre et de chlore, dans le frottement entre solides. Nous retrouverons plus loin ces considérations, avec les additifs extrême-pression.

L'atteinte de températures ponctuelles élevées amène à considérer la notion de température éclair, laquelle va gouverner, en dehors de la tenue des films d'oxydes, non seulement les possibilités de transfert des métalloïdes, mais les possibilités de phénomènes de trempe ou de transformations cristallines (explication possible des apparitions de martensite dans les couches superficielles, par exemple), les températures éclair pouvant aisément dépasser la température de transformation d'un des métaux en présence ; en l'absence de déformations élastiques, cette température varie comme la puissance 1/2 de la vitesse, et comme la puissance 1/4 de la charge (Caubet). Dans le cas de contacts hertziens véritables (engrenages, par exemple), la température s'élève dans la bande de déformation élastique et la température de travail des dentures est plus élevée du fait du travail de déformation élastique ; des travaux allemands ont indiqué des températures comprises entre 220 et 260°C dans des dentures d'engrenages droits, près de la surface des dents.

Il y a intérêt à ne mettre en contact que des métaux de structures métalliques différentes, et surtout de mailles cristallines différentes, pour réduire le frotte-

ment ; cette conclusion, à laquelle ont également abouti Caubet et Courtel, est confirmée par une ancienne théorie de frottement (1925), émise par M. Woog. Cet auteur montre que le frottement serait le résultat de l'altération des champs de forces superficiels de deux corps glissant l'un sur l'autre, lorsque les parties pleines d'une surface franchissent les lacunes du réseau cristallin de l'autre surface ; le frottement serait dû, selon lui, à des manifestations d'origine électrique et électromagnétique. Cette théorie rejoint les conclusions plus récentes (1960-1965) des chercheurs s'occupant du frottement, celui-ci diminuant dans le cas :

— de surfaces polies par brunissage, cette opération provoquant une diminution des espaces lacunaires ;

— de couples de surfaces ayant des mailles cristallines de dimensions très différentes : chrome dur et fonte, par exemple ;

— d'insertion d'un tiers corps à grandes mailles cristallines ayant une direction de glissement préférentielle : soufre, par exemple.

Le reproche qu'on peut lui adresser, c'est qu'elle concerne des surfaces pratiquement sans rugosités, ce qui demeure l'exception ; par ailleurs, pour que le graissage soit possible, en l'absence de surfaces auto-lubrifiantes, un minimum de rugosité est nécessaire, que l'on peut fixer à 0,02/0,03 μ.

Il ne faut pas oublier l'expérience de moteur mécaniquement parfait réalisé par Chrysler, avec surfaces superfinies de rugosité voisine de 0,01 μ : le moteur grippa en quelques secondes, le lubrifiant ne pouvant s'opposer au collage des surfaces.

Les efforts de frottement de glissement vont varier avec de nombreux facteurs : vitesse, charge, gradient d'application de la charge, température, nature des métaux, nature et rigidité des surfaces, perfection et poli des surfaces, manière dont le poli est obtenu (mécanique ou électrolytique) et selon qu'il y a possibilité d'affinités entre les édifices cristallins en présence ou non. C'est dire qu'en pratique, la prévision d'un coefficient de frottement est plus qu'aléatoire, en dehors de toute question de lubrifiant ou de régime de graissage et qu'il est préférable d'orienter résolument l'aménagement des surfaces vers des transformations rationnelles, chaque fois que possible.

Il faut également tenir compte des deux autres formes de frottement : roulement et pivotement. Ils présentent la particularité de ne concerner que des contacts hertziens.

Dans le frottement de roulement, il y a déformations élastiques, presque simultanées, de l'élément roulant, et de la pièce servant de piste ; une partie de l'énergie fournie à l'élément roulant, pendant la compression, est perdue par hystérésis élastique dans les matériaux en présence. L'effort résistant est d'autant plus grand, proportionnellement, que le rayon de l'élément roulant est plus faible, si bien qu'en dessous d'un certain rayon (de l'ordre du mm), il peut y avoir glissement ou roulement, selon la charge appliquée. C'est le principal de la résistance au mouvement, les pertes par frottement de glissement entre les surfaces étant relativement faibles ; l'aspect épidermique perd beaucoup de son importance, malgré l'arrachement des micro-soudures, un minimum de poli de surfaces étant acquis. Les températures éclair sont élevées et il y a possibilité de transformations cristallines.

Dans le frottement de pivotement, il y a également déformations élastiques simultanées de la partie mobile (pivot) et de la partie fixe (cuvette) ; le couple de pivotement dépendra pour une charge et un coefficient de glissement donnés, des rayons de courbure en présence. Il sera plus élevé, pour des courbures de sens contraires, l'une convexe, et l'autre concave. Il suppose, pour demeurer valable, que les surfaces soient polies du mieux possible.

USURES

On définit l'usure comme la perte de substance superficielle d'un corps frottant, perte causée par action mécanique, sans que l'état de surface du corps considéré soit compromis. En général, on distingue trois périodes, dans l'usure d'une pièce soumise au frottement :

— le rodage pendant lequel l'usure, sensible au début, diminue progressivement, à mesure de l'accommodement des surfaces, sans compromettre le fonctionnement, sous réserve de prendre des précautions : mise en vitesse et mise en charge progressive, surveillance de l'échauffement, graissage abondant. L'état de surface s'améliore, du fait de la réduction progressive de la valeur des rugosités ;

— la période de marche normale, pendant laquelle l'usure doit être très faible et demeurer sensiblement constante ;

— la période de vieillissement, plus ou moins rapidement atteinte, selon les contraintes admises lors du calcul du mécanisme, pendant laquelle l'usure va recommencer à croître, jusqu'à compromettre le bon fonctionnement, ou le rendement mécanique global, sous l'effet de la fatigue des métaux. La durée de cette période sera fonction du système de remplacements périodiques, envisagé dans le plan d'entretien.

Mécanismes de l'usure.

Les mécanismes de l'usure sont très proches de ceux du frottement, avec cette différence qu'ils tiennent compte des effets cumulés des évolutions de

structures dans le temps, ce qui, parfois, fausse le parallélisme généralement observable entre taux d'usure et coefficient de frottement. Après le rodage, on retrouve les conditions du frottement, la plus favorable étant le cas du frottement par cisaillement, les micro-soudures formées étant rompues à l'interface même. Ceci ne détache que des quantités minimes de matières, qui migrent avec le lubrifiant. Si, par contre, il s'agit du frottement par soudure, les transferts de métal sont plus importants, et il y a destruction lente du corps le moins dur.

Selon les régimes de vitesses et de charges, les possibilités de déformations élastiques à grande fréquence (roulements, dentures d'engrenages), il y aura chaque fois que les métaux sont arrivés au contact, déchirement et consommation des manteaux protecteurs (oxydes, sels métalliques, ...) ; dans ce dernier cas, le manteau protecteur se reformera d'autant plus vite que la majorité de ces sels possèdent un coefficient de frottement croissant avec la vitesse. Il y aura consommation d'additif et consommation de métal, sous forme d'usure ménagée, très faible. Dans le cas des manteaux d'oxydes, leur restauration est moins aisée ; quant aux savons formés à l'interface, qu'évoquent certains auteurs (Caubet, Dhers...) ils n'ont pas d'existence prouvée, sauf si le lubrifiant contient un acide gras à l'état libre (compound), et l'on ne peut faire fond sur la « protection » due à ces savons hypothétiques.

Les matériaux mis en liberté sont des éléments d'abrasion ; s'ils ne sont pas piégés, par filtration du lubrifiant, ils risquent de venir s'incruster, au hasard des accidents micro-géométriques ou des plages molles de la structure. Ils s'écrouissent ou se trempent, et leur dureté très élevée leur permet de jouer le rôle d'abrasif, et d'accroître la vitesse d'usure ; ils peuvent parfaitement être renforcés par des poussières abrasives extérieures au mécanisme (silice, cendres vitrifiées, ...), dont l'élimination relève, aussi, de la filtration du lubrifiant.

Le vieillissement survient par écrouissage, dû aux contraintes cycliques et aux déformations élastiques à fréquences plus ou moins élevées. Il se marque, d'une part, par des glissements à l'intérieur des grains, d'autre part, par la rotation de ces grains, qui s'usent à leur interface propre, et, enfin par les déformations permanentes, ou les fractures qui peuvent intervenir, dans la zone des points à cisaillement maximal. D'après Caubet, cette forme d'usure devient prépondérante, lorsque s'offre une possibilité de transformation structurale, dans un couple soumis à des efforts de frottement considérables ; la dynamique des transformations structurales est le critère principal de l'usure, dans le cas de charges élevées.

Cas particuliers.

Deux cas particuliers d'usure peuvent être enregistrés, qui portent atteinte à l'état de surface :

Attrition moléculaire :

Dans le cas de micro-vitesses et de micro-déplacements, surtout si ceux-ci ont lieu à fréquence notable (mais infra-sonique), il arrive que les surfaces se rapprochent, viennent au contact, et l'on assiste à l'attrition moléculaire. Celle-ci ne survient que rarement, hors des cas de contacts hertziens.

On l'a faussement appelée corrosion de contact (ou corrosion de frottement), alors que la corrosion est le phénomène secondaire, le phénomène principal résidant dans les arrachements cristallins dus à l'action des forces de Van der Waals ; c'est une adsorption de solide à solide. L'oxyde formé est anhydre, très adhérent, généralement au centre d'une cavité absolument nette de toute trace de corrosion. L'étude systématique faite en Grande-Bretagne (National Physical Laboratories, Teddington) montre que le phénomène est largement indépendant de :

— la pression de contact entre 500 et 4 000 kg/cm^2 ;

— la nature des corps en contact. Il fut reproduit entre acier doux et acier traité, alliages légers, bronze, verre et bois ;

— l'état de surface initial de chacune des pièces ;

— la présence de lubrifiant, laquelle peut retarder le phénomène mais non l'empêcher, sauf dans le cas de bisulfure de molybdène ;

— la possibilité de corrosion extérieure (cas de fils de câbles métalliques).

Usures d'origine électrique.

a) Dans le cas de grandes vitesses de glissement (portées d'arbres de turbines, engrenages de pompes à huile) avec film lubrifiant diélectrique mince, l'électrisation joue un rôle non négligeable et l'on observe, soit une attaque superficielle de la pièce en acier (attaques en plaque des portées d'arbres, par exemple), soit des destructions superficielles sous forme de piqûres multiples (piquage des engrenages). Le remède est, chaque fois que la chose est possible, la mise à la terre soignée de l'arbre (ou de l'axe portant les engrenages). Il ne s'agit pas de corrosion, les piqûres étant absolument nettes de toute trace d'oxyde.

b) Dans le cas de roulements chargés tournant, soit à très faible vitesse, soit à moyenne vitesse ($n \leqslant 1\,200$ tr/mn), soumis à des chocs répétés. Le phénomène se traduit par des destructions cristallines localisées semblables à celles observées dans le cas d'attrition moléculaire, mais moins profondes, et absolument vierges de toute trace de corrosion, les roulements étant graissés avec une graisse classique, sans additif antiusure.

La solution fut trouvée dans l'emploi de graisses rendues conductrices par addition de poudre d'argent (roulements à très faible vitesse) ou de poudres de cuivre (roulements de fusées de wagons).

GRIPPAGES

Le grippage provient nécessairement du contact métal/métal prolongé, qu'il s'agisse de charge dépassant la résistance à la rupture du film lubrifiant, d'une insuffisance ou d'une absence de lubrifiant. A son début, ou plus exactement si le phénomène ne se manifeste que sur une très courte période, le grippage peut être sensiblement limité au griffage, mais le plus souvent, on constate l'altération plus ou moins profonde de l'état de surface ; on peut classer l'incident dans une des deux catégories suivantes (Caubet) : grippage épidermique ou grippage profond. Malgré cette classification, le mécanisme exact du grippage est encore très mal connu.

Grippage épidermique.

Il est la conséquence extrême d'un glissement par soudure ; lorsque les micro-adhérences sont trop denses sur une aire donnée, elles peuvent provoquer un phénomène irréversible sous l'action conjuguée des élévations ponctuelles de température, des hautes pressions localisées et des déformations engendrées lorsque deux micro-aspérités arrivent au contact et créent des micro-soudures à l'interface ; les déformations créent le bourrelet frontal qui est beaucoup plus marqué après un faible parcours de glissement (Courtel), d'où accumulation de matière susceptible de bloquer le mouvement par augmentation de l'aire réelle de contact et soudure.

Les accidents résultant de l'aggravation cumulée du frottement par soudure se font dans un sens parallèle à celui du mouvement, ce qui est la plus mauvaise disposition. Polti observe que le phénomène peut également se produire lorsqu'on fait frotter deux métaux susceptibles de faire entre eux des alliages. Godet note que le phénomène est rare avec les aciers doux et mi-durs, car les phénomènes de piquage et les déformations superficielles interviennent avant.

Grippage profond.

Les surcontraintes, plus ou moins aggravées par un coefficient dynamique, la fatigue et l'écrouissage des sous-couches, peuvent aboutir à des ruptures de fibres, voire au détachement d'une écaille métallique complète. Ce dernier processus est un de ceux qui gouvernent le piquage des dentures d'engrenages, probablement dans 25 % des cas. Les pressions hertziennes normales à la surface et les tensions de cisaillement tangentes à la surface créent dans le métal un réseau de tensions internes qui passe par un maximum en un point situé dans la masse du métal, à une distance de la surface qui peut être, dans le cas d'appui d'une sphère sur un plan, voisine du demi rayon de la circonférence délimitant l'aire d'appui. Lorsque les forces de cisaillement s'accroissent, le point de tensions internes maximales se rapproche de la surface et peut, en se situant dans la couche superficielle plus ou moins désorganisée et écrouie, provoquer des dégâts importants sous forme d'arrachements.

Les défauts inhérents à l'élaboration des pièces ont une densité plus grande dans les couches superficielles qu'en profondeur. Dans un grand nombre de cas, le frottement engendre un mode d'écrouissage rappelant le galetage, créant une couche superficielle écrouie et anisotrope, dont la profondeur ne dépend que des sollicitations du frottement ; dans cette couche mince, assimilable à une couche plaquée, le taux d'écrouissage croît avec le rythme et le temps d'application des contraintes. D'après Caubet, ces phénomènes cumulatifs vont amener des phénomènes brutaux rappelant le flambage ; on aboutit au détachement d'écailles métalliques. Alors que, dans le cas de destruction par fatigue, des signes précurseurs permettent souvent une prévision, le détachement d'écailles ou l'égrènement sont des phénomènes subits, qui conduisent à la destruction rapide, localisée ou non, de la surface. L'égrènement est particulièrement sensible lorsque des interphases fragiles existent au voisinage de la surface.

Polti se basant sur des travaux récents (1972) observe que lorsqu'un curseur glisse sur une piste, les contraintes dues aux forces de frottement peuvent :

— avoir une action de vieillissement en profondeur ;

— créer des fluages à l'avant du curseur (on retrouve la notion de bourrelet frontal, de Courtel) par surcompression, ou des déchirements à l'arrière du curseur, par surtensions.

Il montre que les cisaillements profonds peuvent d'abord faire apparaître des fractures parallèles à la surface, puis de nouvelles fractures qui se développent perpendiculairement à la surface. Dans une dernière phase, la désagrégation s'accélère, et l'on retrouve, soit l'écaillage, soit l'égrènement.

FROTTEMENT LUBRIFIÉ

Les lubrifiants interviennent, en mécanique pour diminuer les pertes par frottement, assurer autant que possible la protection des surfaces frottantes et, dans nombre de cas, évacuer la majeure partie des calories dégagées par le frottement. Selon les régimes de graissage compatibles avec les conditions de fonctionnement des machines, les valeurs des pertes par frottement, que l'on peut caractériser par des coefficients n'ayant qu'une valeur indicative, varient dans des proportions considérables, en ce qui concerne la mécanique classique. Dans nombre de cas, il est possible d'améliorer ces coefficients dont nous avons vu la sensiblité à de nombreux facteurs ; cette dernière se traduit par des différences indiquées par certains auteurs, en raison des difficultés des mesures d'une

part et, souvent, des conditions particulières de détermination. Les trois tableaux donnés ci-après rassemblent les quelques données les plus classiques, auxquelles sont jointes des données expérimentales. Il importe, devant la variété des chiffres, d'examiner rapidement les divers régimes de graissage possibles, pour permettre de mieux traiter le problème de protection des surfaces frottantes, tout en ne consentant que la plus faible perte d'énergie possible (tabl. I, II et III).

TABLEAU I : Frottement de glissement. Contacts superficiels.

Dates approximatives	Origine	Régime hydrodynamique ou hydrostatique		Régime onctueux			
		Paliers lisses	Pivots à patins	Acier sur régules		Acier sur bronzes	
				Non traité	Traité MoS_2	Non traité	Traité MoS_2
avant 1900	Coulomb	0,010		0,100		0,075	
1945	J. Groff	0,010	0,020-0,050	0,035-0,100			
1950	Bowden	0,001		0,070-0,110		0,160	
1950	Isothermos	0,001-0,003					
1963	Caubet	0,005		0,100		0,100	
1964	du Parquet	0,002-0,005	0,015-0,035				
1965	Lefèvre				0,040-0,060		0,050

TABLEAU II : Frottement de roulement. Contacts hertziens.

Dates approximatives	Origine	Sur rails	Roulements		Type de lubrifiant
			A billes	A aiguilles	
avant 1900	Coulomb		0,0005		Huile ?
1910	Desdouits	0,002-0,005			Graisse
1910	Stribeck		0,013-0,015		Huile
1945	J. Groff		0,005		Huile
1963	Caubet		0,006	0,007	Huile
1965	Lefèvre	0,008-0,010 (1)	0,002-0,020	0,004-0,030	Graisse
			0,003	0,005	Huile (2)

(1) Sur voies de 0,700 m.
(2) Epilamens.

TABLEAU III : Lubrifiants solides seuls. Frottements de glissement.

Dates approximatives	Origines	Acier sur			Verre $V \leqslant 6$ m/s
		Téflon $V \leqslant 2$ m/s	MoS_2		
			$V \leqslant 0,01$ m/s	$V \geqslant 0,05$ m/s	
1950	Bowden	0,050			
1960	Séjournet				0,010 (3)
1965	Lefèvre		0,10-0,15 (1)	0,07-0,10 (2)	

(1) Contacts hertziens (fils de câbles métalliques) ; f = 0,60-0,75 sans MoS_2.
(2) Contacts superficiels. Températures < 120°C.
(3) Températures > 800°C (filage à chaud).

Régime hydrodynamique.

Il nécessite la création d'un film lubrifiant réalimenté d'épaisseur déterminée, suffisante pour que les aspérités des surfaces frottantes soient séparées de façon certaine. Dans les paliers dits « hydrostatiques », il s'agira de maintenir le parallélisme des surfaces, la pression dans le film liquide étant un élément déterminant ; le second élément du calcul sera la viscosité du fluide, à la température du régime. Aucune qualité particulière n'est exigée du lubrifiant, si l'on excepte sa résistance à l'oxydation ; c'est le cas général des paliers de broches des machines outils de précision (paliers fluides Gérard, par exemple).

Dans le régime hydrodynamique, on s'appuie sur la théorie du coin d'huile, un certain angle déterminable par le calcul permettant la sustentation de la partie mobile par rapport à la partie fixe ; la variable essentielle à considérer pour le fluide est sa viscosité à température de régime, cette viscosité étant liée à la valeur des jeux relatifs, de la vitesse et de la charge. C'est le cas général des paliers lisses de machines rotatives à moyenne et grande vitesses dans lesquelles les couples sont réguliers (turbines à vapeur ou à gaz, compresseurs axiaux, à rotors hélicoïdaux à axes parallèles, par exemple), et des pivots et butées à patins oscillants, fortement chargés. La perte par frottement oscille entre 0,001 et 0,003, lorsque le débit d'huile est laminaire ; si l'on atteint un régime turbulent, la perte peut aisément dépasser 0,010. La perte par frottement est un peu plus élevée dans le cas des pivots à patins oscillants, bien que les chiffres donnés tant par Groff que par du Parquet soient des limites supérieures dans le cas pivoteries très chargées (0,010 pour les pivots des turbines de Génissiat, chargés chacun à plus de 1 450 t).

Les seuls instants pendant lesquels il pourrait y avoir contact entre les surfaces sont le démarrage et l'arrêt ; pour les démarrages, on dispose d'un circuit secondaire de graissage permettant une suppression initiale, ce système déclenchant dès que la machine dépasse un premier seuil de vitesse. Dans le cas de pivoteries chargées, on soulève d'une fraction de millimètre la partie tournante, pendant le premier quart de tour de la turbine, pour permettre l'amorçage du film. Le risque est beaucoup plus faible lors de l'arrêt.

La perte par frottement est réduite, pratiquement, au frottement interne du lubrifiant, sous condition que l'écoulement de ce dernier s'effectue en régime laminaire ; c'est la perte la plus faible qui se puisse concevoir, ne dépassant pas 0,005 avec une huile relativement visqueuse, dans les cas classiques. Ceci, joint à la protection des surfaces qui permet d'annuler pratiquement les usures, a provoqué l'application du graissage en régime hydrodynamique chaque fois que possible, qu'il s'agisse de coussinets complets (lisses ou à segments) ou partiels (cas des coussinets d'essieux Athermos et Isothermos); si cette opération est parfaitement valable et même désirable chaque fois qu'il y a sensiblement constance de la vitesse de rotation avec variations limitées de la pression spécifique, il en va différemment dans le cas des systèmes bielle-manivelle.

L'application systématique aux lignes d'arbres des moteurs thermiques, comme aux lignes d'arbres de compresseurs d'air à pistons, ne présente plus les mêmes garanties de sécurité et de pertes très faibles, que l'application aux systèmes à vitesse de rotation sensiblement constante, et l'on peut obtenir des ruptures du film lubrifiant.

Dans le cas d'un système bielle manivelle, si la vitesse de rotation du vilebrequin est constante, il y a, par tour, une variation cyclique de la vitesse de bielle, donc de la vitesse relative du coussinet de bielle par rapport au maneton. De plus, les portées de têtes de bielles de moteurs étant étroites (1/d est généralement compris entre 0,55 et 0,75), les fuites latérales sont importantes ; si l'on veut, après un passage à faible vitesse de rotation, augmenter rapidement cette dernière, il faudra tenir compte des forces d'inertie des ensembles bielle-piston, qui vont faire jouer, dans des proportions notables, la pression spécifique, le maximum se produisant au passage du point mort haut, à l'instant précis où la vitesse est minimale. La pression peut être suffisante pour provoquer l'expulsion temporaire du lubrifiant et assurer le contact direct coussinet-maneton ; l'usure localisée qui en résulte se traduit, après un délai variant de 2 500 à 4 000 h de service par ce qu'il est convenu d'appeler l'ovalisation des portées de bielle (Lefèvre).

On peut y remédier en opérant, au montage du moteur ou lors d'un remontage après révision, un prétraitement de surface des manetons par un lubrifiant solide (MoS_2 en poudre) qui supprime le risque d'ovalisation ; Mercedes pratique systématiquement l'opération au montage des moteurs neufs.

La vitesse minimale d'amorçage d'un film est voisine de 0,025 m/s, d'après les multiples essais effectués par Isothermos et il est couramment admis que le régime hydrodynamique n'est possible que si l'on a $A > 5 . 10^{-6}$ (A étant le nombre de Sommerfeld ou de Stribeck). Leloup admet 12 à 15 comme valeur minimale pour obtenir un régime stable. C'est dire que, pratiquement, le régime hydrodynamique n'est pas assuré de manière aussi systématique que d'aucuns le prétendent et, en particulier, il ne peut exister pour :

— les dentures d'engrenages, sauf aux très grandes vitesses de rotation ($n > 6\,000$ tr/mn) ;

— les roulements à billes ou à rouleaux ayant un jeu diamétral minimum voisin de 0,002 de l'alésage, même si l'huile est utilisée comme lubrifiant ;

— les paliers lisses à faible ou moyenne vitesse de rotation, si des bassins relais ne sont judicieusement aménagés,

— des vitesses linéaires inférieures à 0,05 m/s, sauf si la charge spécifique est très faible,

— les cas de prédominance des contacts hertziens, en général, avec déformations élastiques correspondantes.

Il faudra donc se résigner, dans de nombreux cas, au régime de graissage onctueux, voire au régime limite.

Enfin, les très faibles pertes relatives aux paliers lisses, signalées au *tableau I*, supposent un écoulement laminaire ; dès qu'on atteint le régime turbulent (cas des pivoteries à patins oscillants, le plus souvent), les pertes sont multipliées par un facteur fréquemment supérieur à 5. Dans le cas d'emploi d'huiles visqueuses à la température de régime (μ compris entre 150 et 250 cSt), la valeur de A place le point de fonctionnement dans la zone de stabilité de la courbe de Stribeck, mais avec un coefficient de frottement élevé, puisque ce facteur est lui-même fonction de la valeur de A. L'avantage subsistera quant à la faiblesse des usures, ce qui est loin d'être négligeable. Par ailleurs, la zone des températures de régime demeure limitée, d'une part par la nécessité de toujours disposer d'un fluide newtonien et, d'autre part, par la viscosité relativement faible des lubrifiants liquides au-delà de 130-150°C ; l'utilisation de températures de cet ordre exigerait des précautions particulières aux démarrages (réchauffage préalable) et, de plus, un lubrifiant particulièrement résistant à l'oxydation.

Régime onctueux.

C'est le régime de graissage dans lequel l'épaisseur du film lubrifiant n'est pas obligatoirement supérieure à la somme des aspérités des surfaces en contact d'une part et, d'autre part, les variations de la vitesse relative des surfaces frottantes peuvent être telles qu'il y ait inversion du sens de déplacement, et ceci à une fréquence relativement élevée (cas des engrenages).

Par ailleurs, l'intervention de contacts ponctuels ou linéaires sous pressions hertziennes pose le problème de l'élastohydrodynamique et non plus celui de l'hydrodynamique simple, étant donné la variation considérable de la viscosité du lubrifiant (multiplicateur $> 10^3$), pendant des temps très courts susceptibles d'atteindre 10 à 100 microsondes, le temps imparti à la décompression étant du même ordre de grandeur. On pourra, par le calcul, évaluer l'épaisseur d'un film lubrifiant, montrer qu'elle ne dépend que fort peu de la charge, les pressions de contact étant considérables (de l'ordre de 10 t/cm^2), mais on ne peut en démontrer la continuité. Du fait des contacts possibles entre surfaces, ce sont les qualités intrinsèques du lubrifiant qui vont prédominer, la viscosité passant presque au second plan ; le passage du régime hydrodynamique au régime onctueux ne résulte pas, comme on le prétend encore trop souvent, de la diminution du facteur de Sommerfeld par réductions simultanées de la viscosité, de la vitesse et des jeux. Si cette transition est parfois possible, sur la vitesse, lorsque se modifient les conditions de fonctionnement d'un ensemble soumis au régime hydrodynamique, on ne peut le considérer que comme un cas particulier.

Du fait qu'on peut observer des vitesses de glissement inférieures à celles permettant l'amorçage d'un film ($v < 0{,}02$ m/s), il convient d'étudier les interactions surfaces-lubrifiant : mouillabilité, onctuosité, résistance du film lubrifiant à la rupture sous charge (charge de grippage), pour pallier l'usure dans la mesure du possible. De plus, la notion de température éclair reprend droit de cité, ce facteur intervenant pour soumettre le lubrifiant à des contraintes supplémentaires.

Comme les produits du pétrole ne possèdent pas, à l'état naturel, les propriétés multiples que réclament les applications du graissage onctueux, on est contraint de leur conférer ces qualités par des additifs : mouillants, additifs d'onctuosité, antiusure ; d'autre part, il faudra freiner les tendances à l'oxydation, au moussage, voire à la corrosion, par l'adjonction d'inhibiteurs. Tous ces corps sont valables pour les lubrifiants liquides et pour les lubrifiants plastiques ; toutefois, leur action est physique, et non physico-chimique, c'est-à-dire qu'ils sont actifs même aux basses températures. La confusion des produits antiusure avec ceux destinés au cas du graissage limite (extrême pression) qui ne peuvent agir en deçà d'un seuil de température assez élevé, est donc une erreur dont la persistance demeure curieuse chez des ingénieurs.

D'autre part, il y a lieu de séparer les huiles en différentes catégories, dans le cas du graissage onctueux et, notamment, en dehors des huiles minérales pures :

— les huiles pour moteurs, dont les additifs ont des rôles bien définis, d'une part comme antiusure et, d'autre part, pour annuler autant que possible les méfaits des combustions incomplètes et des pollutions du carter par les fractions lourdes de carburant ou de combustible ;

— les huiles pour engrenages dont les additifs antiusure sont particuliers ;

— les huiles pour circuits hydrauliques, pour lesquelles les additifs antiusure seront choisis pour éviter tout gommage des éléments du circuit, sous les pressions maximales de service. Dans cette catégorie, s'inscrivent les fluides difficilement inflammables, dont la mise au point est en voie d'achèvement ;

— les huiles pour outillages pneumatiques.

D'autre part, il sera possible d'utiliser les lubrifiants plastiques, pour lesquels la rhéologie prend une place prépondérante, surtout si l'on considère que les efforts résistants donnés par ces produits sont souvent beaucoup plus faibles que ceux donnés

par une huile. L'étude de ces produits, notamment dans le cas du graissage des roulements à double rangée de rouleaux, à vitesse constante, selon programme de températures prédéterminé, a montré, pour une quantité définie de graisse garnissant le roulement d'essai :

— des couples résistants dont la valeur se situait entre la moitié et les 2/3 de ceux que donnerait une huile de viscosité moyenne (65 cSt à + 50°C);

— que ces couples pouvaient varier dans la proportion de 1 à 5, pour des graisses de caractéristiques apparentes semblables ;

— un accroissement des couples résistants de 35 à 40 % chaque fois qu'on incorpore à une graisse de formule connue, un additif antiusure, appelé EP par erreur ;

— que la tenue d'une graisse dans un roulement, à une vitesse supérieure à 2 200 tr/mn ne peut être estimée, sauf par essai direct, la température à laquelle la graisse s'expulsera du roulement n'ayant pas de lien défini avec la valeur de la température de fusion de la graisse.

Les raisons de l'absence de perfectionnements suffisants sont multiples ; on peut en trouver dans la méconnaisance des graisses découlant de l'interprétation de deux définitions étrangères assez curieuses:

— l'A.S.T.M. (U.S.A.) définit la graisse comme un produit solide ou demi-solide, obtenu par dispersion d'un agent gélifiant dans un lubrifiant liquide ;

— Booser (Grande-Bretagne) définit la graisse comme étant le magasin destiné à fournir les quantités minimes de lubrifiants nécessaires à la bonne marche d'un mécanisme.

Il est regrettable que l'AFNOR ait adopté, dans sa norme M 06 001, la traduction de la définition A.S.T.M., laquelle ne signifie rien.

En réalité, une graisse est un lubrifiant visco-plastique obtenu par épaississement d'huiles minérales (ou de synthèse), notamment à l'aide de savons métalliques (Bernelin-IFP). Les essais menés aux Charbonnages de France confirment exactement ceux de l'U.S. Navy (Annapolis) et montrent que les meilleures graises pour roulements sont obtenues avec des huiles de viscosités moyennes (35 à 75 sSt à + 50°C), contrairement aux pratiques américaines et anglaises ; la théorie anglo-américaine peut aisément tripler la valeur des pertes d'énergie.

Le développement des huiles épaissies, appelées par erreur graisses infusibles, ou sans point de goutte, tout simplement parce que l'essai normalisé n'est pas possible, n'est à prendre en considération que s'il s'agit d'huiles de viscosité moyenne (< 80 cSt à + 50°C), épaissies par épaississants organiques, à l'exclusion d'épaississants minéraux (bentones, gels de silice...), qui donnent des couples résistants beaucoup trop importants dans les roulements (échauffement supplémentaire de 30 à 40°C à 1 500 tr/mn), ainsi que des usures marquées.

Le régime onctueux ne peut assurer de garantie aux surfaces contre des accidents épidermiques, voire profonds : il y a intérêt à tenter de combiner les actions des lubrifiants avec celle des transformations et des traitements de surfaces.

GRAISSAGE EN RÉGIME LIMITE

Nous avons vu qu'au-delà d'un certain seuil de charge et de vitesse, l'oxygène ne peut suffire pour protéger les surfaces, la destruction des manteaux d'oxydes étant assurée, et leur réfection beaucoup trop lente pour éviter les accidents. Il faut envisager d'autres corps, plus aptes à former avec le métal des surfaces, des composés protecteurs ; ce seront des corps halogénés, tels que le chlore, le soufre et le phosphore. Les températures élevées permettent les combinaisons sous forme de chlorure, sulfures, phosphures, dont les films ont, pour la plupart, des points de fusion inférieurs de plusieurs centaines de degrés à ceux des oxydes des métaux correspondants.

Ces corps, relativement onctueux, s'accrochent facilement aux surfaces et ont une action comparable à celle des acides gras, mais jusqu'à des températures élevées. Le coefficient de frottement, lié au cisaillement des couches de sels, bien que nettement inférieur aux valeurs du frottement sec métal/métal, est relativement important (0,20 pour le chlorure de fer, à 0,70 pour le sulfure de fer) mais il est fortement réduit, chaque fois qu'il y a présence de lubrifiant liquide ; du fait de ce frottement relativement important, l'échauffement est notable, au sein de la couche de sel et il y a consommation de ces corps, tantôt par arrachement et cisaillement, tantôt par fusion. Le remplacement rapide du manteau détruit se fait en consommant du métal de base. Il y a donc usure ménagée, sans altération grave de l'état de surface et sans grippage.

C'est la caractéristique d'action des additifs dits « extrême pression », lesquels sont pratiquement inopérants à froid, alors que les additifs antiusure sont actifs à froid, en protégeant les surfaces par le biais de l'adsorption des savons qu'ils contiennent ; le domaine d'action des antiusures s'arrête au seuil de celui des extrême pression, au-delà de la température de fusion des savons. La confusion entre les deux séries ne peut donc être techniquement possible. Les meilleures combinaisons actuelles de métalloïdes sont celles de soufre et chlore, ou soufre et phosphore.

L'action des additifs extrême pression exige des températures éclair élevées, donc l'action de la vitesse. Nécessaires dans le cas de dentures hypoïdes (vitesses de glissement : 10 à 16 m/s, sous pressions hertziennes), ils sont pratiquement inactifs dans le cas de déplacements à faible vitesse (de l'ordre de 0,01 m/s) sous fortes pressions, lesquels ressortent de l'action des lubrifiants solides, préalablement adsorbés sur une des surfaces. Il y a donc, dans le

tive, avec un risque non négligeable d'incidents et d'échauffements. Il est donc nécessaire, pour assurer la sécurité et réduire les pertes par frottement :

— soit de disposer une couche contaminante sur l'une des surfaces, pour réduire le risque de cisaillement et diminuer le degré de soudure entre les surfaces (Bisson) ; c'est le cas d'emploi d'un lubrifiant solide ;

— soit de procéder à la transformation d'une des surfaces pour la rendre insensible au grippage, et lui donner éventuellement des qualités autolubrifiantes plus ou moins étendues.

La première solution peut satisfaire un certain nombre de cas et, en particulier, celui des microvitesses de déplacement, sous parcours plus ou moins petit, en l'absence de toute possibilité d'action d'un lubrifiant classique ; elle peut aussi permettre d'échapper à l'intervalle de température imposé par les lubrifiants classiques (— 50/+ 250°C), qui ne sera qu'à peine élargi par les produits de synthèse (— 70/+ 350°C) et fournir des solutions valables entre — 200°C et + 500°C, mais sans permettre de vitesses de glissement supérieures à 6 ou 8 m/s. On peut atteindre, dans quelques cas, avec des systèmes un peu particuliers, — 250/+ 800°C et, dans le domaine du filage à chaud, 1 200°C.

La seconde solution, qui s'adresse au frottement lubrifié, ne permettra pas les mêmes écarts de température, mais elle vient aider à réduire fortement les usures, les résistances au mouvement, et protéger contre les risques d'insuffisance temporaire de graissage.

Cas d'emploi des lubrifiants solides.

La nécessité d'emploi des lubrifiants solides est reconnue depuis très longtemps, mais l'utilisation de ce genre de produits ne s'est développée qu'avec la mise sur le marché du bisulfure de molybdène (MoS_2); les difficultés d'adsorption du graphite par les surfaces métalliques avaient largement freiné son emploi avant 1940, bien que, sur le plan des usures, quelques résultats intéressants aient été enregistrés. D'autres corps que le MoS_2 sont possibles, mais, actuellement, l'expérience pratique n'a pas encore pu les consacrer, et, pour d'autres, les conditions de température rencontrées dans les applications ne justifieraient pas leur emploi. Si l'on excepte la possibilité de formation *in situ* du MoS_2 (brevet Hugel) par l'intermédiaire d'un lubrifiant liquide qui, bien que ne s'adressant pas au cas de graissage limite, relève plutôt de la technique des additifs extrême pression, d'une part, et d'autre part, ne permet pas les fonctionnements sous faibles parcours effectués à microvitesse, on peut, d'un point de vue général, obtenir la couche de lubrifiant solide de trois manières :

Par adsorption.

C'est le cas des lubrifiants pulvérulents, utilisés seuls ou en mélange, la répartition de la poudre pou-

vant être assurée par projection, au moyen d'un aérosol, par l'intermédiaire d'une pâte concentrée (> 50 % de produit actif), ou directement. Elle peut s'opérer, soit sur la surface à traiter, préalablement dégraissée, soit sur la surface traitée par phosphatation à froid, si la pièce traitée doit travailler en milieu corrosif.

Par couche déposée.

— Enrobage : Cas de vernis au MoS_2 ou au graphite, thermodurcissables ou non,

— Placage : Cas des plastiques, certains pouvant être projetés à l'état pulvérulent, puis comprimés (Téflon).

Par fusion de lubrifiant solide.

— Effet conjugué de la température et de la pression : cas du verre lubrifiant (600 à 1 200°C),

— Trempage dans un bain de métal fondu, suivi de laminage ou de tréfilage. Cas de fil pour câbles, par exemple,

— Pulvérisation de métal fondu, généralement sous vide (argent, baryum).

La première méthode est générale, et ne modifie pratiquement pas les cotes des pièces, pas plus qu'elle ne modifie l'état de surface. Elle ne préjuge pas de l'utilisation d'un lubrifiant classique, le lubrifiant solide agissant comme inhibiteur de soudure et comme antiusure : c'est le cas désormais classique du traitement des éléments d'un moteur thermique (chemises, queues de soupapes, poussoirs, cames, portées de vilebrequins) lors du montage de l'ensemble. Le rodage est facilité, et la durée du moteur accrue ; des expériences portant sur des séries de moteur Diesel (120 et 150 CV à 2 400 tr/mn, 30 et 60 CV à 1 500 tr/mn), avec des durées de service voisines de 10 000 h, sont probantes. L'expérience est également probante dans le cas de câbles métalliques composés de fils ronds (à l'exception des câbles porteurs de téléfériques), bien que l'application en tréfilerie soit assez délicate : augmentation de durée ⩾ 25 à 30 %, diminution du nombre de fils cassés dans le rapport de 20 à 1, par exemple. Les études effectuées au CERCHAR (1963-1965) ont montré des teneurs voisines de 2 % de molybdène métal sur fils de câbles neufs lorsque l'opération d'enduction avait été convenablement faite, et de 0,7 à 1 % de molybdène métal sur fils de câbles déposés après 30 mois de service.

La seconde méthode est déjà moins générale ; si l'emploi de vernis donne d'excellents résultats dans le cas d'engrenages nus (broyeurs à charbon) et de chaînes Galle, en évitant tout graissage ultérieur, ou en espaçant les applications (6 mois dans le cas des engrenages nus). Il est réservé aux utilisations sous températures extrêmes (— 200 ou > 600°C), d'appareils spéciaux ; il y a modification notable des cotes (plusieurs dixièmes de mm), ce qui limite très fortement son emploi, en mécanique. Quant à l'emploi des plastiques, il se limite pratiquement, en industrie, au genre Téflon ou polyamides, pour lesquels les coef-

nets en alliage cuivre-plomb, en vue de diminuer notablement le coefficient de frottement en cas de défaillance temporaire du graissage.

— Dépôt de chrome dur, comme antiusure, avec polissage de la surface obtenue, puis attaque ménagée (par corrosion ou par action mécanique) pour permettre la circulation du lubrifiant. Après avoir connu une faveur marquée, ce procédé régresse malgré son intérêt. Deux causes principales paraissent être à la base de cette perte de faveur relative :

- le prix de revient du traitement ; bilan préalable nécessaire ;
- le fait que le métal recouvert est fréquemment fragilisé par l'effet de la diffusion d'hydrogène lors de l'électrolyse nécessaire au dépôt de chrome. Les pièces soumises à flexions rotatives présentent rapidement des signes de fatigue et accusent des ruptures par fragilisation (vilebrequins de moteurs rapides). Pour palier cet inconvénient, il est nécessaire de procéder d'abord à un cuivrage, puis à un nickelage, avant de passer au chromage ; le procédé est efficace, mais son prix de revient est élevé.

Nombre d'applications du chromage dur épais (> 40 microns) ont fait leurs preuves, chaque fois qu'il s'agissait de pièces travaillant, soit en compression, soit aux chocs répétés ; si, dans les moteurs, il est déconseillé de chromer les chemises, l'intérêt du chromage des segments, des portées de soupapes, des cames de distribution, par exemple, est amplement démontré. Dans le cas d'outillages divers (forets, fraises, peignes...), de matrices d'emboutissage ou de forgeage, des résultats ont été obtenus, ainsi que, dans certains cas, par le chromage de cylindres de laminoirs.

Action chimique.

Il s'agit de dépôts minces, obtenus par attaque superficielle ménagée, à basse température, dont l'efficacité n'est valable que pendant un court délai.

Deux procédés principaux figurent dans cette catégorie :

a) Surfid Process (Brevet Standard Oil Californie, 1941). La pièce à traiter est lavée et réchauffée dans un bain d'eau bouillante, puis plongée dans une solution de soude concentrée additionnée de soufre, à 130°C, pendant 15 à 20 mn. La pièce traitée est rincée à l'eau bouillante.

La couche de surface obtenue est très mince (quelques microns) et sa durée limitée (8 à 10 h).

) Phosphatation (Procédé Floyd), également connu sous le nom de Parco Lubrite ou de Parkerisation. Il s'agit d'un traitement à 100°C pendant une trentaine de minutes dans une solution aqueuse de phosphates (fer et manganèse) précédé et suivi de rinçages à l'eau bouillante. L'épaisseur de la couche traitée est de l'ordre de 10 à 15 microns, avec une durée possible de 8 à 10 h de service. Il s'agit également d'une couche antigrippante aidant au rodage.

On peut aussi procéder à une phosphatation rapide, dite à froid (50 à 70°C) pour obtenir un film chimique anti corrosif, sur lequel le MoS_2 s'accroche beaucoup mieux que sur une surface d'acier ou de fonte nue.

Action thermochimique.

L'ensemble des traitements réalisables présentement a pour ancêtre le procédé SATS (Brevet Foucry), connu sous le nom de Sulf-Inuz (1948-1950).

A part ce procédé, les autres sont le fait du centre de recherches d'Hydrodynamique et Frottement (équipe Caubet), et diffèrent du précédent. Alors que celui-ci ne comprend qu'une couche traitée de polysulfures et de nitrures, accusant, aux premières sollicitations, une certaine fragilité permettant une usure initiale d'une certaine importance (10 à 20 microns après 5 h de service dans le cas de chemises de cylindres de Diesel), l'usure se limitant rapidement dans le temps (25 à 30 microns pour les mêmes chemises après 500 h), mais elle a pu, dans certains cas (paliers Morgoïl) atteindre le millimètre ; ceci était dû, en partie, au fait qu'on avait traité les coussinets et non les arbres. De plus, quand on veut rétablir une dureté superficielle, on ne peut l'obtenir que par traitement haute fréquence (brevet Partiot), et l'épaisseur de la couche transformée (tabl. IV) ne permet pas l'application du procédé aux pièces minces (< 2 mm), ni aux fils de faible diamètre (∅ ⩽ 3 mm), en raison des transformations cristallines, le traitement ayant lieu à 580°C pendant plusieurs heures.

Le mérite de l'équipe Caubet fut de reprendre l'étude du problème, en s'appuyant sur les données théoriques de la mécanique des surfaces et de l'étude du frottement ; s'appuyant également sur les travaux de Kragelski, Caubet aboutit à la condition théorique que le frottement externe est le seul valable si l'on veut que les dégradations n'intéressent qu'une faible épaisseur et que, pour ce faire, le gradient des caractéristiques doit être positif lorsqu'on quitte la surface pour s'enfoncer vers l'intérieur du métal. Ceci le conduit à la règle dite des « trois couches » :

— une couche extérieure très mince, de l'ordre de quelques microns, chargée d'inhiber toute possibilité de soudure avec la surface antagoniste. Ce peut être un composé hexagonal du métal de base (sulfure de fer, par exemple), ou le dépôt d'un métal mou, totalement insoluble avec le métal de la surface antagoniste ;

— sous cette couche mince d'inhibition, une couche très dure et très ductile, ne se déformant que sous

TABLEAU IV :

	Nature des métaux	Nom du traitement	Température de traitement (°C)	Durée (h)	Profondeur de la couche traitée (μ)	Varia de ((
Traitements à haute température	Ferreux	Sulz-Inuz Forez Stanal	580 600 600	1 à 3 4 à 6 10 à 15	350 à 400 100 à 150 30	— 15 + +
	Alliages cuivreux	Delsun	420	8 à 14	30	+ 7 à
Traitements à basse température	Ferreux	Sulf. B.T.	200	1	50 à 60	— 4 à
	Alliages légers	Zinal	165	18 à 20	25	+ 15 à

des sollicitations sévères, mais se déformant sans se briser. Il est bon que le gradient des caractéristiques mécaniques croisse de l'extérieur vers l'intérieur. L'épaisseur de cette couche varie avec la rugosité de la pièce, les charges imposées et les modules de Young des métaux de base des pièces en présence ;

— sous la microcouche dure, le métal de base retrouve progressivement sa dureté à cœur, sous plusieurs centaines de microns.

Une autre règle à laquelle Caubet attache une très grande importance, c'est la considération de la longueur cinématique des surfaces frottantes ; la longueur cinématique d'une surface est la distance parcourue sur celle-ci par l'aire d'appui lorsqu'après un tour ou un cycle, les choses se retrouvent à l'état initial. Dans le cas de l'arbre tournant sur un palier, la surface cinématique la plus longue est celle de l'arbre. Dans le cas de frottement à faible ou moyenne vitesse, pour des températures suffisamment basses pour qu'il ne se produise pas de modification des contraintes d'écrouissage, c'est la plus grande surface qui s'use le plus. C'est donc elle qu'il faut traiter ; c'est également la surface cinématiquement la plus longue qu'il faudra le mieux ventiler. Une précaution est à prendre dans les cas de traitements à haute température : opérer avant finition de la pièce, un recuit à une température égale ou légèrement supérieure à celle du traitement de surface.

Compte tenu des règles indiquées ci-dessus, on doit pouvoir, présentement, obtenir dans la majorité des cas qui préoccupent tant l'ingénieur d'entretien que l'ingénieur de graissage, des possibilités de protection de surfaces contre les avaries graves. De plus, on perçoit la possibilité de réduire les usures et les pertes par frottement, sans préjudice d'un graissage correct. L'emploi des lubrifiants solides, conjugué pour des pièces simples avec d ments rapides du genre phosphatation, pe autre gamme d'application non démunie d'int d'autant plus que, parfois, l'action du lubrifia sera prépondérante : c'est le cas d'impossib tique d'action des lubrifiants classiques (par câbles métalliques, articulations à faible ment...).

Cas plus général des pertes d'énergie.

L'examen critique des solutions appor problèmes mécaniques, fait en considérant, d les pertes d'énergie qu'elles entraînent conséquences résultant des usures rapides, part, le peu que nous savons touchant les pc du graissage et celles des matériaux, conc certain nombre de réflexions. La protection faces frottantes étant possible, avec le min pertes par frottement, il convient de reche autres causes de pertes d'énergie en vue de mination ; la mise hors service continu de mé à faible rendement mécanique ($\rho < 0{,}80$) première voie de recherches. Deux autres c de recherches concernant les lubrifiants peu suivies :

1 — *Lubrifiants liquides.*

Une tendance générale est d'augmenter sité pour accroître la protection contre l'us est exact que la résistance à la rupture lubrifiant (charge de grippage), dépend en la viscosité, cette résistance n'augmente portionnellement à l'accroissement de la mais comme la racine cubique de cet accroi Il y a donc intérêt à doper une huile avec tif antiusure qui va faire croître la valeu charge de grippage beaucoup plus rapidem modifier notablement la viscosité.

s le cas des engrenages, il y a lieu de noter agit de viscoélasticité puisque, du fait des ns de contact (plusieurs tonnes/cm^2), la visco- ıtantanée est 10^3 à 10^4 fois celle mesurée ıion atmosphérique ; de plus, la sécurité qu'on tirer de l'emploi d'un fluide visqueux n'est nul- prouvée, le piquage des dentures pouvant se facilité par un film trop épais, et l'on sait qu'il se développe de préférence dans la région de ure pour laquelle la vitesse de glissement est de zéro, et que l'épaisseur du film lubrifiant, ıitif, est 4 ou 5 fois supérieure à sa valeur au t de la denture. Il n'y a pas intérêt à dépenser ergie inutile supplémentaire pour véhiculer un très visqueux.

qui vaut pour les engrenages vaut pour d'au- ɔblèmes de graissage.

ıs.

rhéologie des graisses est mal connue, les classiques normalisés ne renseignant pas sur t. Les recherches faites sur la pompabilité par ne Nationale ont montré l'absence de corréla- tre la donnée classique de consistance et la ɔilité à moyenne distance (15 à 20 m) ; le pro- diffère dans le cas de circuits de graissage ıgs, mais le doute demeure permis. La confir- du fait se retrouve lorsqu'on étudie la variation ıple résistant, dans un roulement défini. A ɜ vitesses (3 000 tr/mn), seules tiennent des s procurant de faibles couples résistants, tan- ɜ 1 500 tr/mn et au-dessous, on peut faire tenir ɜisses présentant une variété impressionnante ple : à vitesse et température constantes, les extrêmes s'étagent de 1 à 5 et même plus ; ɜment traduit la valeur plus ou moins élevée ple par un échauffement au-dessus de l'am- dans laquelle il est placé (on a trouvé jusqu'à 40-45°C d'échauffement parasite à 1 500 tr/mn et 50°C d'ambiance). Nous savons qu'en pratique, il est impossible de déterminer avec quelque précision la température de régime d'un roulement. De plus, tous les raisonnements faits en laboratoire sont plus ou moins infirmés par la pollution due au milieu ambiant. Le fait d'utiliser des graisses contenant des additifs anti-usure oblige de consentir un supplément de résistance de 40 %, pour une protection dont l'efficacité n'est pas démontrée, alors qu'aucun système d'étanchéité parfaite n'est réalisable en pratique, poussières et débris cheminent dans la graisse et viennent accroître les difficultés cinématiques du roulement. La preuve de cette affirmation, contraire à la légende de la graisse protectrice contre les poussières, fut trouvée il y a quelque vingt ans, lors d'essais systématiques effectués sur dispositifs d'étanchéité de rouleaux de convoyeurs à bande (la collection comprenait plus de 100 systèmes différents, venus d'Angleterre, d'Allemagne, d'Italie, de France, et des Etats-Unis ; il fallut en inventer deux qui ont porté les numéros 109 et 110 et furent refoulés, parce que trop coûteux).

Un seul système de graissage permet de conserver, avec un couple résistant bas, sensiblement constant, le roulement en bon état : il s'agit du système de graissage par brouillard d'huile, qui permet l'étanchéité par rapport au milieu, en créant une légère surpression dans le boîtier du roulement. Il ne faut pas perdre de vue qu'avec la graisse, lorsque le jeu diamétral du roulement passe de 1 à 2, le couple résistant passe de 1 à 1,22, toutes autres choses demeurant égales. Dans certains cas, en sidérurgie rhénane, le brouillard d'huile a permis de multiplier la durée de vie de certains roulements par 8, ce qui représente un amortissement convenable de la dépense initiale, la valeur de remplacement d'un roulement, main-d'œuvre comprise, représentant plus du double de la valeur de la pièce.

RECEMMENT PARU

Henry Le Chatelier

Un grand savant d'hier, un précurseur

Sa vie, son œuvre, son temps

par François Le Chatelier

Ingénieur Civil des Mines

Ouvrage couronné par l'Académie des Sciences

Prix Henri de Parville 1970

L'influence des découvertes d'Henry Le Chatelier (1850-1936) demeure profonde, car ce savant a été un des principaux artisans de la pénétration de la science dans l'industrie et par suite de la mutation économique en cours. C'est en grande partie grâce à lui que nous pouvons aujourd'hui profiter d'une expansion rapide de la productivité, et en chiffrer à l'avance le taux de croissance ; il y a un siècle, penser que de telles prévisions pussent un jour être faites eut semblé une folie.

Son esprit très ouvert et d'une inlassable activité a largement débordé le progrès technique ; il s'est intéressé à tous les grands problèmes de son temps et a éveillé de nombreuses vocations scientifiques.

Au début du XXe siècle, la réforme des divers cycles d'enseignement inquiétait déjà les plus clairvoyants ; ce fut une des préoccupations dominantes du savant. Beaucoup de ses suggestions ont été reprises par les réformateurs contemporains ; dans d'autres cas, au contraire, nous prenons aujourd'hui le contrepied de ses propositions.

Il fut en particulier un défenseur acharné, mais déjà malchanceux, de la culture classique et, d'une façon plus générale, d'un enseignement secondaire orienté vers le développement des facultés intellectuelles, et non vers l'acquisition de connaissances utilitaires.

Premier disciple français de Taylor, Henry Le Chatelier s'est passionné pour l'organisation du travail. Les problèmes économiques et sociaux, les structures politiques, ont souvent retenu son attention ; il les abordait avec une grande liberté d'esprit, en dehors des sentiers frayés de la routine.

Appartenant à une famille marquée par le sens du service public, il sut allier la discipline avec la liberté, et défendre farouchement son indépendance de citoyen.

Un volume illustré 21,5 × 13,5 de 504 pages, 6 hors textes, en vente aux bureaux de la Revue de Métallurgie, 47, rue Boissière, Paris-16e, C.C.P. 491-04 Paris.

Prix pour la France : 38 F t.t.c. franco. Pour l'Etranger : 42 F franco par envoi postal recommandé.

Il ne sera pas fait d'envoi contre remboursement.

problèmes posés par la responsabilité des ingénieurs et chefs d'entretien en matière de sécurité

J.M. Cavé
Directeur du service Sécurité et conditions de travail de l'Union des Industries Métallurgiques et Minières (Paris)

Communication présentée à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972 par l'Association Technique de la Sidérurgie.

Je crois que s'il y a quelque chose de nouveau dans ce pays, c'est l'intérêt qui est porté aux questions d'hygiène et de sécurité. Il fut un temps où nous déplorions qu'on n'y attache pas un intérêt suffisant. Il n'est pas certain que l'intérêt qu'on y porte aujourd'hui corresponde exactement à ce que nous souhaitions.

Il n'est pas courant que, dans sa déclaration, le Premier ministre évoque des problèmes de sécurité du travail, mais c'est pourtant ce qui a été fait ; je ne sais pas si vous avez remarqué la petite phrase de M. Chaban-Delmas à l'Assemblée Nationale où, pour la première fois dans cette enceinte, on évoquait des problèmes d'hygiène et de sécurité à ce niveau — ce n'est pas de chance d'ailleurs, car pour la seule phrase qui a été dite, il y a une petite erreur — car il a dit : « on va augmenter les pouvoirs des Comités d'hygiène et de sécurité ». Or, je sais que ces services eux-mêmes savent très bien qu'il n'est pas question des pouvoirs des Comités d'hygiène et de sécurité, mais que l'on va, sur ce plan, augmenter très certainement la mission des comités d'hygiène et de sécurité.

En effet, la sécurité du travail, dans le sens étroit du terme, est en train d'évoluer et de recouvrir les conditions de travail d'une façon générale, et cette évolution est traduite dans le projet de réforme du décret du 1er août 1947 sur les comités d'hygiène et de sécurité.

Si on a voulu associer les travailleurs un peu plus à l'étude de certains dispositifs ou certains modes de production, mettant en cause la sécurité des hommes, je pense que ceci est assez en accord avec l'espèce de doctrine que le Patronat français a essayé de mettre sur pied.

Ceci dit, toute réglementation maintenant est regardée par nous avec d'autant plus de circonspection qu'il va y avoir à la clé un certain nombre de pénalités pour la non-observation de cette réglementation.

Je suis un peu désolé, ayant à m'adresser à vous, d'avoir à traiter du sujet entre tous le moins sympathique, puisque c'est la question des pénalités. Mais je crois que ce n'est pas parce qu'il n'est pas sympa-

thique qu'il ne faut pas en parler. Il y a une raison pour le faire, c'est qu'en général on est assez mal informé.

En tout cas, je l'ai constaté dans toutes les sessions d'ingénieurs, de directeurs d'ailleurs aussi, d'agents de maîtrise, à tous les niveaux de l'entreprise où j'ai pu intervenir ; ce sont des notions qui ne sont pas données dans les écoles professionnelles, ni dans les écoles d'ingénieurs. Il y a peu d'ingénieurs qui, sortant d'une grande école et entrant dans une usine, savent que, du jour au lendemain, ils risquent peut-être de se retrouver en prison.

Je voudrais essayer de clarifier un peu le problème.

Il y a des sanctions qui peuvent être prises après l'accident qui a provoqué une blessure ; il y a aussi des pénalités, des sanctions qui peuvent être prises avant tout accident.

Dès l'instant que nous reconnaissons qu'il vaut mieux prévenir les accidents que les réparer, on pourrait trouver logique d'appliquer au défaut de prévention des pénalités analogues à celles qui sont prévues après l'accident.

Cependant, en droit, c'est quelque chose de différent d'avoir commis une imprudence qui n'a fait aucune victime ou d'avoir commis une imprudence qui a abouti à tuer un travailleur.

LES SANCTIONS APRÈS L'ACCIDENT

Quelles sont les responsabilités des directions et des ingénieurs lorsqu'un accident est survenu ?

— les premières sont les pénalités d'ordre civil, c'est-à-dire de l'argent versé,

— et puis les sanctions d'ordre pénal.

Sanctions d'ordre économique.

Au point de vue somme d'argent, vous savez ce que cela coûte à l'entreprise : le taux de cotisation d'accident du travail est basé sur le risque réel des entreprises, c'est-à-dire que, en gros, pour toutes vos sociétés, qui sont des grosses sociétés, c'est le risque réel total ; autrement dit, chaque entreprise a un taux calculé d'après le montant des prestations qui ont été versées aux salariés de l'établissement pendant la dernière période de référence considérée.

Une petite remarque cependant. Les usines qui se trouvent dans le ressort de la caisse de Strasbourg, c'est-à-dire Moselle, Haut-Rhin, Bas-Rhin, ont un régime de taux collectif, c'est-à-dire que toutes les usines sidérurgiques paient le même taux. L'incitation à la prévention est là collective au lieu d'être individuelle.

très précisément informé du danger qui existait. Cela peut se faire de différentes façons : ce sont des plaintes de délégués, c'est un vœu du comité d'hygiène et de sécurité, c'est une mise en demeure de l'Inspecteur du Travail. Cela peut être aussi une injonction d'une caisse Régionale d'Assurances maladie. Voilà donc ce qui constitue le caractère volontaire, et ce sera normalement le caractère volontaire d'une omission, plus que le caractère volontaire d'un acte dangereux.

Reste le dernier critère, qui est le caractère de gravité exceptionnelle de la faute. La jurisprudence a eu une tendance constante à glisser vers le caractère de gravité exceptionnelle les conséquences de la faute. Autrement dit, si le juge voit arriver devant lui une veuve chargée de 5 enfants, il aura toujours tendance à penser que c'est un accident grave. Oui, les conséquences de l'accident sont graves, mais ce n'est pas cela qu'on lui demande de juger, mais seulement si l'auteur de la faute a vraiment commis une faute d'une gravité exceptionnelle.

Une condamnation en faute inexcusable peut coûter à l'entreprise 100 000 à 200 000 F à payer en 4 à 6 ans. Voilà à peu près le montant des capitaux constitutifs de faute inexcusable qui sont accordés.

Sanctions d'ordre pénal.

En cas d'accident survenu, quelles sont les sanctions pénales qui peuvent frapper l'employeur ou ses substitués ? La réponse est donnée par le code pénal (articles 319 et 320) : 319, c'est l'homicide par imprudence, 320, ce sont les blessures graves n'ayant pas entrainé la mort — sans élément intentionnel ; blessures entrainant une incapacité totale de travail personnel pendant plus de 3 mois. Or, ces peines encourues sont personnelles, individuelles. Il n'est plus question, là, de l'entreprise, mais c'est chacun qui peut être reconnu coupable, justiciable de l'article 319 ou 320. En cas de blessures, la peine peut aller de 15 jours à un an de prison, accompagnée de 500 à 15 000 F d'amende, ou bien de l'une des deux peines seulement.

En cas d'accident mortel, on risque une peine de prison de 3 mois à 2 ans et une amende de 1 000 à 20 000 F.

Chaque fois qu'un accident mortel se produit dans une usine, c'est exactement comme en cas d'accident de chasse, une enquête est ouverte par le Parquet : il y a enquête des gendarmes et du Parquet, qui viennent interroger les témoins : témoins qui d'ailleurs peuvent très facilement, de témoins, devenir inculpés. C'est le juge d'instruction qui instruit l'affaire et là-dessus, il est important de dire que, quelle que soit la bonne volonté des supérieurs hiérarchiques, ils ne peuvent absolument pas couvrir leurs subordonnés.

Dans tous les cas, le juge d'instruction doit étudier minutieusement à quel niveau il doit placer son

inculpation. Quelquefois, on l'a vu dans des catastrophes comme à Feyzin, il ne se prive pas pour la placer à des échelons différents en même temps.

Voici donc où on en est au point de vue du code pénal et où on en est au total en ce qui concerne les responsabilités pour les accidents qui se sont traduits par des blessures.

LES SANCTIONS AVANT L'ACCIDENT

Maintenant, il faut en venir à ce qui se passe avant la blessure et, là, nous abordons le sujet de la vraie prévention, c'est-à-dire les sanctions qu'on peut prendre pour défaut de prévention, même s'il n'y a pas eu d'accident.

Il y a une première sanction connue, qui a été introduite par la loi sur la Sécurité sociale et qui fait partie des pouvoirs importants des caisses Régionales d'Assurance maladie. Toute caisse Régionale peut, après injonction, imposer à une entreprise une majoration de cotisation ; elle peut d'abord imposer la réalisation d'une mesure de sécurité, même au-delà du code du Travail, même si elle n'est pas prévue d'une façon précise dans le code du Travail ; elle décide que telle entreprise doit réaliser telle mesure particulière de sécurité.

Si l'employeur ne satisfait pas à cette injonction, il risque une cotisation supplémentaire, c'est-à-dire qu'on majore sa cotisation d'accident du travail. Un arrêté ministériel, prévoit qu'en cas de récidive, cette majoration de cotisation accident du travail peut aller jusqu'à 200 % de la cotisation principale. Autrement dit, une entreprise paie, mettons 4 % de cotisation accident du travail ; elle peut se retrouver avec une cotisation de 12 % des salaires, jusqu'à ce qu'elle ait réalisé les mesures qu'on lui demandait.

Il y a maintenant des mesures pénales, des sanctions pénales, qui sont prises avant la survenance de tout accident ? C'est ainsi que sont réprimées les infractions aux dispositions du code du Travail et dans tous les textes qui sont pris pour leur application.

La réglementation sur les accidents du travail est particulièrement abondante ; elle représente près de 1 600 pages de réglementation issues soit du code du Travail lui-même, soit des règlements d'administration publique pris pour son application.

Les infractions à cette réglementation peuvent être punies actuellement d'amendes qui varient de 60 à 360 F en première infraction et qui sont multipliées par le nombre d'infractions ; c'est-à-dire que si, dans un atelier, un employeur a 50 presses et si les 50 sont en infraction, il y aura 50 fois cette amende.

Et cette amende est assortie d'une autre pénalité qui est fort désagréable : l'affichage aux portes de l'usine et l'insertion du jugement dans les journaux locaux.

En récidive, l'amende peut passer de 360 à 3 600 F.

En deuxième récidive, le code du Travail prévoit la possibilité de la fermeture de tout ou partie de l'établissement. Voilà ce qui existe actuellement.

Mais le ministre du Travail a déposé un projet de loi, actuellement en discussion devant le Parlement, et qui augmente le taux des pénalités : en première infraction, là où est prévue actuellement une amende de 60 à 360 F, les amendes iraient, d'après le projet de loi déposé sur le bureau de l'Assemblée nationale, de 2 000 à 20 000 F, assorties de peines de prison allant de 2 mois à 1 an.

Cela veut dire qu'à la première infraction à une disposition du code du Travail, on peut, sans mise en demeure préalable, aller en prison pour un an.

En cas de récidive dans un délai de 5 ans, ces peines peuvent être portées jusqu'à 2 ans et l'amende est portée à 50 000 F.

Les peines sont donc ainsi correctionnalisées avec tout ce que cela comporte, notamment l'inscription au casier judiciaire, l'exercice des droits civiques, le droit d'exercer certaines fonctions, etc...

Je voudrais pour terminer indiquer quelque chose de plus positif. Je ne sors pas tout à fait de mon sujet, puisqu'il s'agit toujours de ce que coûtent les accidents dans une entreprise.

Nous avons eu connaissance, il y a 3 à 4 ans, d'une expérience américaine que nous avons essayé d'introduire en France, et je sais qu'il y a déjà des usines, et des usines sidérurgiques, qui l'ont utilisée.

Une charge se décroche d'un pont-roulant et un ouvrier se trouve en dessous. C'est un accident mortel, avec le déploiement de tout ce que je viens de dire : pénalités, etc.

La même charge se décroche du même pont-roulant ; il y a un ouvrier, à 20 mètres de là, et un morceau de revêtement de sol a malencontreusement ricoché vers lui. Il est légèrement blessé. On va s'y intéresser : on va étudier l'incident (D'ailleurs, la législation sur les comités d'hygiène et de sécurité prévoit que ceux-ci doivent s'intéresser à tous les incidents, même ceux qui n'ont pas provoqué d'accident grave, s'ils révèlent un danger grave).

Troisième hypothèse : la même charge tombe du même pont-roulant et il n'y a personne autour. Alors, cet incident remontera le moins haut possible ; on fera tout pour l'éviter.

Or, quelle différence y a-t-il entre les trois accidents ? Il y a la différence d'une coïncidence. Entre

le fait qu'un accident est mortel ou qu'il ne l'est pas, il n'y a, quelquefois, que quelques centimètres seulement.

Quand nous avons commencé notre première campagne de sécurité dans la sidérurgie de l'Est, un des Directeurs généraux d'une grande société m'a dit : « Ce que je veux avant tout, c'est supprimer les accidents mortels ». « Ah, lui ai-je répondu, ça, je ne sais pas le faire, je n'ai aucune idée. On peut essayer de faire l'inventaire des risques mortels, ce qui est tout à fait différent. Mais dire qu'on est sûr qu'il n'y aura pas d'accident mortel, c'est impossible ».

Lorsque, dans une entreprise, un accident mortel se produit, tout le monde est sensibilisé par les conséquences de l'accident. Or cet accident n'a peut-être qu'une chance sur un million de se reproduire, alors que dans la même usine il y a peut-être des accidents purement matériels, des dégâts matériels qui se reproduisent dix fois par jour, qui grâce à une chance formidable n'ont donné lieu à aucune espèce de blessure, mais qui sont un risque mortel permanent et un risque répétitif qu'il serait donc intéressant d'analyser.

Ce risque-là nous échappe complètement, parce qu'il n'est pas recensé.

L'expérience américaine que je veux citer est la suivante : l'entreprise s'appelle la Lukens Steel, en Pennsylvanie. Un ingénieur de sécurité, engagé pour « prévenir les accidents », a été stupéfait par le nombre de dégâts matériels qu'il constatait dans l'entreprise. Des gros, des moyens et des petits dégâts, tout petits quelquefois : des coups sur l'arrière d'un camion par exemple, des bas de porte endommagés, des passerelles d'accès à des ponts-roulants un peu tordus... et il a déclaré un jour à une réunion touchant la production : « J'ai l'impression que nous perdons chaque année plus de 500 000 dollars en dégâts matériels n'ayant provoqué aucune blessure ». On ne l'a pas cru. Il a acheté un appareil photo et, un an après, est revenu à une réunion analogue et a remis des centaines de photos dans les mains des responsables de la production qui ont reconnu leurs propres services et les dégâts qui avaient été photographiés.

On lui a alors donné carte blanche pour faire un inventaire plus serré et on a commencé par s'apercevoir que cela avait coûté, en réalité, 2 500 000 dollars.

Si je parle de cette technique s'appuyant sur les accidents sans blessure, c'est que l'entretien joue un rôle essentiel, un rôle de pivot. Car la manière de recenser ces dégâts matériels a été fait de la manière la plus commode, en disant tout simplement : « Quand vous faites un bon de travaux pour le service Entretien, vous devez marquer un « A » si la réparation n'est pas due à une usure normale du matériel, mais à un dégât accidentel ». C'est de cette façon qu'on a pu comptabiliser d'une façon précise les accidents.

Quel a été le bénéfice ? Il a été double, car d'une part, on a pu détecter les causes d'accidents matériels et on a pu supprimer ces causes et ces accidents. On a gagné beaucoup d'argent. D'autre part, et c'est évidemment sur ce point qu'il faut mettre l'accent, on a considérablement élargi, en lançant la campagne, le domaine d'investigation des causes d'accidents qui naturellement auraient bien pu causer des blessures. C'est donc un double bénéfice : sur le plan matériel, et aussi sur le plan humain. Cette technique n'est pas, je pense, d'une application très commode, car elle bouleverse un peu nos habitudes, elle demande une information préalable du personnel très précise et, je dirais, très bien motivée au point de vue psychologique.

Mais les résultats ont été très bons, et je voudrais en donner un exemple assez amusant qui m'a été rapporté par le directeur d'une usine sidérurgique de l'Est, dans laquelle on avait déjà commencé cette technique du contrôle des dégâts matériels.

Dans cette usine, il est interdit de tirer les wagons avec les ponts-roulants, mais malheureusement il arrive qu'on estime que c'est ce qui est le plus pratique et le plus rapide. Un ingénieur de l'usine avait dit un jour à son directeur : « Je voudrais bien un petit locotracteur pour tirer mes wagons, plutôt que de les tirer avec les ponts-roulants ». Et le directeur, ayant demandé combien coûtait un locotracteur avait répondu : « Non, c'est trop cher ». Mais ce même directeur ayant lancé l'expérience du contrôle des dégâts matériels, a vu qu'en tirant avec le pont, on avait démoli une dizaine de wagons, il s'est dit : « J'aurais aussi bien fait d'acheter le locotracteur » et on l'a acheté.

discussion

M. CHARPY (Wendel-Sidelor) - Est-ce que l'aggravation des sanctions pénales en France va dans le sens d'une uniformisation avec ce qui existe dans les pays voisins, ou est-ce le contraire ?

M. CAVÉ - Je ne suis pas suffisamment documenté sur la législation pénale des pays voisins, mais nous avons des amis étrangers ici ; ils pourraient nous le dire.

D'après ce que j'en sais, je ne connais pas de pays où, dès la première infraction à l'une quelconque des dispositions réglementaires en matière de prévention, on risque jusqu'à un an de prison. Nos amis étrangers nous le confirmeront. Si nous avions vraiment cette législation qui nous est préparée, nous serions en pointe.

M. DESECURES à M. CHAMBERLAIN (British Steel Corporation) - Constate-t-on en Angleterre une aggravation des

pénalités relatives aux infractions, en matière de sécurité, reprochées aux ingénieurs ?

M. CHAMBERLAIN - Normalement, il est courant qu'une société ou un organisme soit accusé d'avoir enfreint la loi sur les accidents du travail, mais pas un directeur, un administrateur ou un autre membre du personnel ; une amende constitue donc la sanction appropriée plutôt que la détention.

Il semblerait que, dans la loi britannique, l'accent soit mis sur la prévention des accidents et lorsqu'un accident se produit, sur le dédommagement (pouvant être très important selon la gravité de l'accident) de la victime ou de ceux étant à sa charge, plutôt que l'application d'une sanction comme effet préventif.

Toutefois, dans le cas d'une négligence flagrante de la part de l'employeur, c'est-à-dire lorsqu'une grave infraction de la loi sur les accidents du travail entraîne la mort d'un membre du personnel, l'employeur peut, bien entendu, être coupable d'homicide par imprudence selon le droit commun.

Mais, pour encourir une responsabilité sur le plan pénal, la négligence de l'employeur doit entraîner plus qu'une simple affaire de compensation et traduire une désinvolture telle, concernant la vie et la sécurité des autres, qu'elle constitue un crime contre l'Etat et mérite une sanction. L'infraction d'homicide par imprudence est, bien entendu, passible de la détention.

M. BRESSO (Saulnes et Uckange) - Quelle est l'aide que la profession peut apporter — et il faut sans doute entendre par là les syndicats professionnels d'employeurs — au personnel incriminé dans un problème de responsabilité, à la suite d'un accident du travail, ou une infraction à la législation considérée ?

M. CAVÉ - Je dois dire qu'en ce qui concerne l'Union des Industries Métallurgiques et Minières, il ne se passe pas de mois sans que je reçoive la visite d'ingénieurs, de cadres ou de directeurs qui se trouvent attaqués, d'une façon ou d'une autre, sur le plan pénal, pour la faute inexcusable, et à qui nous donnons des conseils et fournissons d'ailleurs des avocats.

Nous avons créé, à l'U.I.M.M., en 1947, une association qui s'appelle « Association d'assistance et d'entraide ». Créée dans ce but, surtout sous l'optique de la faute inexcusable, elle apporte aussi le concours de nos avocats spécialisés en matière pénale.

Je pense que c'est ainsi que la profession peut intervenir ; elle ne peut pas faire plus que de fournir de bons avocats et de considérer que l'affaire de leurs cadres, c'est leur affaire.

Je pense que c'est aussi l'interprétation de la direction ; la réponse à cette question pourrait être mieux donnée par M. Steines que par moi. C'est un problème de direction.

Enfin, la profession elle-même met à sa disposition tout ce qu'elle a pour défendre ses cadres.

M. STEINES (Directeur général des usines SACILOR) - Ma réaction sera celle de tout homme de bon sens. Il a été dit qu'une loi pourrait donner à tout Comité d'Hygiène et Sécurité des pouvoirs d'enquête pratiquement illimités : il est encore permis d'espérer que la réalité sera toute autre. Analysons toutefois les événements que nous vivons.

Nous affrontons des difficultés considérables du fait de la concentration de la production de nos usines, sur un nombre

M. CAVÊ - Il est certain que la condamnation d'un cadre, d'un ingénieur, est extrêmement pénible, pour lui d'abord et, dans la mesure où cette condamnation est connue de tous dans l'usine, elle le met dans une situation difficile vis-à-vis du personnel ; c'est pour cette raison que j'ai vu souvent des directeurs ou, d'une façon plus générale, des supérieurs hiérarchiques, demander à être inculpés à la place de celui qui était visé, de manière à lui éviter une condamnation qui le placerait dans une position fâcheuse.

J'ai vu, il n'y a pas longtemps, un président directeur général dire : « je veux être condamné, parce que moi, je suis à Paris, tandis que mon directeur d'usine est sur place ; je ne veux pas qu'il soit inquiété ». A quoi, j'ai répondu qu'il n'y pouvait pas grand-chose, car c'est au juge d'instruction, et à lui seul, qu'appartient le pouvoir d'apprécier à quel niveau se situe la faute.

Sur la question précise qui m'est posée au sujet des consignes existantes, autrement dit, si un ingénieur condamné risque de se faire renvoyer, je crois que M. Steines serait mieux placé que moi pour répondre. Je ne pense pas qu'étant donné l'extrême sévérité de la réglementation, les directions ne se montrent pas solidaires de leurs cadres.

Et si les directions envisageaient des modifications de positions, ce serait uniquement dans la mesure où la condamnation mettrait le cadre ou l'ingénieur dans une situation très pénible pour lui dans l'entreprise.

M. STEINES - Nous sommes à une époque où commander devient chaque jour plus difficile. N'est pas chef qui veut et chacun doit de plus en plus mériter ses galons, face à un personnel dont le niveau a tendance à s'élever, qu'il faut apprendre à connaître, à sentir, et qui est de plus très sensibilisé aux erreurs éventuelles de commandement de sa hiérarchie.

J'aurais donc tendance à dire que les cadres qui ont un commandement doivent devenir chaque jour plus complets et prendre conscience de l'étendue du rôle qui est le leur.

Un incident récent, survenu au cours d'une grève, illustre mon propos. Un reporter d'une grande chaîne régionale de radio et télévision a pu dire à des cadres de l'usine : « une grève, cela ne vous regarde pas » ; la réaction de ces derniers a été vive, mais ne faut-il pas en conclure que le cadre, technicien sûr et consciencieux, doit dans l'esprit de tous se cantonner dans ce rôle technique et, en aucun cas, n'être un leader ?

Sans vouloir politiser le milieu, devons-nous admettre que cette mutation française vers une activité industrielle toujours plus prédominante se fera avec un encadrement technique dont le rôle se limitera à la marche des installations.

Personnellement, je ne le pense pas. Pour en revenir aux dangers qui nous préoccupent, je n'imagine pas que le cadre, en plus du rôle effacé qu'on veut bien lui concéder, soit simplement une cible.

Nous avons pour tâche de créer, dans la vie journalière, toutes les conditions permettant de travailler en sécurité, nous devons protéger notre personnel, au besoin contre lui-même. Mais il y a trop d'imprévus pour imaginer qu'en dépit des précautions prises, rien de grave ne se produira jamais.

Je crois donc que les cadres, forts de leur bonne conscience, doivent penser à se protéger eux-mêmes. Les événements déjà vécus il y a un quart de siècle montrent que la mise à l'index d'un cadre par un syndicat ouvrier peut lui valoir un ostracisme permanent et l'empêcher de retrouver un emploi. Ceci n'est pas admissible, et il convient d'en avoir le souci.

Les Directions devront, bien entendu, couvrir leurs responsables et elles le feront d'autant plus que dans nos professions les effectifs que les cadres ont en charge sont souvent considérables.

Mais je pense que d'une façon générale — et ce sera ma conclusion — les cadres doivent prendre conscience du rôle accru qu'ils jouent dans la nation et participer toujours davantage à l'élaboration des lois qui les régissent et dont ils sont aujourd'hui associés.

Questions posées par lettre par M. DESECURES - Un certain nombre d'études sont à l'ordre du jour dans certaines commissions, dans des organismes tels que AFNOR, CNM, Caisse Nationale de l'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés. Ces études sont faites dans deux buts : la normalisation du matériel mais, avant tout, la sécurité. Elles traitent des règles de construction, de consignes d'exploitation et de qualification du personnel. Actuellement, les sujets à l'ordre du jour sont les engins de levage et la manutention continue.

Il est assez probable que ces documents, dont les premières publications se présenteront sous forme de normes ou recommandations, pourront être repris dans un avenir plus ou moins proche sous celle d'une réglementation, par décrets par exemple.

On va peut-être se trouver ainsi devant une somme imposante de divers règlements, qu'il faudra étudier et appliquer avec conscience.

1° Cette nouvelle situation, malgré son aspect d'astreinte, ne sera-t-elle pas le moyen d'échapper à des interprétations plus ou moins sentimentales qui influencent actuellement la jurisprudence ?

On discutera sur un texte : le règlement a été ou n'a pas été appliqué et l'enquête n'aura plus qu'à porter sur des points précis pour déterminer s'il y a ou non faute professionnelle.

2° N'y a-t-il pas lieu de souligner l'appel de M. Schoepfer, d'une part pour une participation plus active des usagers dans la préparation de ces documents, d'autre part, pour des prises de position communes sur des points où il faut décider ce qui est possible ou impossible, et où la responsabilité va se porter sur l'ingénieur, le contremaître, le chef d'équipe et aussi sur l'ouvrier ?

Ce n'est pas en laissant faire, par les dérogations ensuite obtenues après publication des règlements, qu'il sera possible de trouver de bons arguments de défense.

M. CAVÊ - Il est certain que, comme vous l'indiquez, la réglementation ne cessera pas de se développer et tout particulièrement en matière de sécurité. Le problème est de savoir s'il faut s'en réjouir ou le déplorer, en raison des charges supplémentaires que cette réglementation fait peser sur les employeurs.

En réalité, ces charges existent déjà, puisque l'article 66 du titre II du Livre II du Code du travail fait une obligation tout à fait générale à l'employeur de prévenir les accidents du travail et les maladies professionnelles.

En ce qui concerne l'application détaillée de cette obligation générale (déjà sanctionnée par des peines encore aggravées par la loi du 5 juillet 1972 dont j'ai évoqué le 31 mai les travaux préparatoires), il y a deux manières de concevoir la réglementation :

— ou bien on impose à l'employeur un objectif à atteindre (« telle machine sera munie d'un dispositif protégeant l'ouvrier contre le danger »). Dans ce cas, l'employeur est jugé sur les résultats de son action prévention dont on lui laisse l'initiative et ne peut être pénalisé avant l'accident ;

— ou bien on impose à l'employeur le choix des moyens (« afin d'éviter que telle machine ne blesse l'ouvrier, elle devra être munie d'un dispositif fait de telle façon » ou : « ...elle devra être munie d'un dispositif répondant à la norme CHX 1397 », ou mieux : « toutes les machines de ce type seront construites selon la norme YFZ 9437 »). Dans ce cas, l'employeur est pénalisé dès l'instant qu'il n'a pas respecté la norme précise qui lui est imposée même en l'absence de tout accident ; mais il bénéficiera d'un préjugé favorable si, bien qu'ayant respecté la norme, un accident est survenu. Mais il ne s'agit là que d'un préjugé favorable qui est loin d'exonérer totalement l'employeur dans tous les cas.

On peut hésiter entre ces deux formules dont chacune comporte ses avantages. Il est bien certain que l'employeur est souvent désemparé s'il doit lui-même « faire en sorte que » le risque soit éliminé et préfère souvent que le législateur lui dise clairement ce qu'il faut faire. Mais si cette formule était appliquée systématiquement, on aboutirait à une masse de réglementations qu'il deviendrait de plus en plus difficile de connaître et donc de respecter. Cela accroît les chances de pénalisation.

D'un autre côté, fixer par une réglementation une mesure de sécurité peut apparaître comme un frein aux progrès techniques puisque, quand cette norme par exemple voit le jour, elle risque d'être déjà dépassée par l'évolution rapide des techniques.

Je pense qu'en fait notre réglementation continuera d'utiliser les deux formules à la fois : pour les dispositifs simples (échafaudages par exemple), on peut fixer le nombre et la hauteur des garde-corps, l'épaisseur des planches, etc. Pour des dispositifs plus complexes, il est peut-être plus sage de fixer l'objectif à atteindre.

Il reste que dans le cas où on choisit cette dernière formule, il faut que le rédacteur du texte s'assure que cet objectif est réalisable.

Et cette dernière réflexion m'amène tout naturellement à votre deuxième question.

Il est évident que la meilleure manière pour les auteurs d'un texte réglementaire de s'assurer que ce texte est applicable est de demander la collaboration des représentants de la profession.

Depuis longtemps, je défends cette idée qu'un seul règlement inapplicable est pire que tout, car outre qu'il ne résout pas le problème spécifique posé, il jette le discrédit sur tous les autres règlements du même type et développe l'idée que, certains de ces règlements étant inapplicables, on peut *a priori* en prendre et en laisser.

C'est pourquoi j'ai été particulièrement heureux quand, par deux fois, nous avons pu faire modifier des textes avec le concours précisément des Commissions de l'A.T.S. et sur deux points qui touchaient de près la sidérurgie : les voies ferrées (décret du 27 août 1962 modifiant le décret du 4 décembre 1915) et les appareils de levage (décret du 18 août 1962 modifiant le décret du 23 août 1947).

Je dois dire que j'avais trouvé auprès de l'administration l'accueil le plus favorable à cette collaboration avec la profession dans le sens de la vraie prévention et je pense donc qu'il faut souligner l'appel lancé par M. Schoepfer.

ı normalisation
u matériel des usines

R. Schoepfer
WENDEL-SIDELOR (Hayange)

ımunication présentée à la "Journée d'étude sur l'entretien en sidérurgie" organisée à Paris le 31 mai 1972, l'Association Technique de la Sidérurgie.

POINT DE VUE GÉNÉRAL SUR LA NORMALISATION

Quoique les ingénieurs d'entretien soient géné-ment bien informés de la normalisation et convain-de son utilité, il est nécessaire de rappeler ce st cette discipline et les avantages qu'elle pro- à l'économie d'un pays.

nition.

I. Frontard, Directeur Général de l'AFNOR, donne éfinition d'une norme et précise ce qu'est la alisation dans les termes suivants :

Une norme est une donnée de référence, résul-d'un choix collectif raisonné, en vue de servir ıase d'entente pour la solution de problèmes itifs.

La normalisation ou activité d'établissement de ıes, s'attache notamment à définir collectivement, onsidération de catégories déterminées de be-s, des gammes correspondantes de produits ou ıodes propres à les satisfaire (aptitude à l'emploi), éliminant les complications ou les variétés inutiles ıplification), afin de permettre une production et utilisation rationnelle sur les bases techniques ables du moment.

« Les normes précisent des définitions, caractéristiques, dimensions, méthodes d'essais, règles d'emploi, etc.

« Ces différents éléments de la normalisation peuvent être formulés séparément ou combinés dans une même norme. »

La normalisation est donc un effort collectif vers un certain ordre économique basé sur des accords univoques relatifs à des objets, à des notions, à des procédés, à des relations, à des comportements, etc.

La normalisation s'intéresse donc à des objets aussi bien matériels qu'immatériels.

C'est ainsi qu'on aura à établir des normes explicatives, des normes de classement, des normes de types sur la forme, le genre, la grandeur et l'échelonnement d'objets, des normes de planification, des normes de construction (tolérances par exemple), des normes dimensionnelles, des normes de matières et de matériaux, des normes de qualités, des normes de procédés, etc.

Le développement de la normalisation dans l'entreprise doit être considéré comme un investissement à long terme. Les pleins effets d'une normalisation ne se font sentir qu'à plus ou moins longue échéance et seulement progressivement. La normalisation doit

donc intervenir dès l'établissement des programmes de production et de développement d'un produit.

Avantages économiques.

Pour le producteur.

Simplification de ses productions en éliminant les complications ou les variétés inutiles qui compliquent l'organisation de sa production, multiplient les outillages, augmentent ses stocks, encombrent ses ateliers et magasins et transforment l'organisation de ses expéditions en casse-tête chinois.

Amélioration du prix de revient, car les frais de fabrication d'articles en série baissent suivant la loi définie par M. Caquot :

$$\frac{P - Po}{Po} = \sqrt[4]{\frac{So}{S}} - 1$$

c'est-à-dire que le prix unitaire d'un article de série varie suivant la racine quatrième de la longueur de la série. En doublant la longueur d'une série, on diminue de 15 % le coût de chacun de ses éléments.

Il est évident que cette loi, qui est une loi de tendance, ne joue que sur la valeur ajoutée par l'entreprise et sa répercussion sur le prix de l'article est d'autant plus importante que le prix de la matière première est faible par rapport au prix de la main-d'œuvre qui intervient dans l'exécution.

Pour l'utilisateur.

Garantie de la constance des dimensions et de la qualité, donc interchangeabilité et immuabilité des modes d'emploi qui n'ont pas besoin d'être réadaptés à chaque nouvel approvisionnement de l'article.

Gain de temps pour le personnel utilisateur qui a l'habitude de travailler avec un article donné.

Diminution des erreurs dans l'emploi et, comme conséquence, réduction des « loups » de fabrication, etc.

Pour le chef d'approvisionnement.

Simplification dans la rédaction des commandes dont la spécification se résume à la référence à une norme sans malentendus ou erreurs possibles, la responsabilité technique étant prise par les techniciens rédacteurs de la norme.

Diminution du nombre des commandes de dépannage.

Amélioration des délais de livraison. Diminution des frais de réception.

ɜa valeur. C'est ce qui donne toute l'impor-
ɛ commandes par marchés passés pour des
assez longues qui permettent aux fournis-
« faire des prix » en prévoyant, de façon
ise, ses plannings de fabrication.

illeurs, la passation de marché permet de
ɜ nombre de commandes, ce qui n'est pas
omie négligeable, quand on sait que, dans
le administration privée, l'établissement d'une
e, depuis l'appel d'offres jusqu'à la livraison.

s les relances éventuelles et le règlement
res, revient à environ 45 F de frais adminis-
ais d'acquisition de l'article).

A NORMALISATION APPLIQUÉE
JX MATÉRIELS SIDÉRURGIQUES

es de la normalisation illustrés par des
ples.

directions générales des sociétés sidérurgi-
t généralement bien conscientes de tous les
ɜ de la normalisation des articles d'approvi-
nt courant (boulonnerie, quincaillerie, articles
ɜs, etc.), elles semblent par contre moins
ɪes de l'intérêt que la normalisation des élé-
ɪnstitutifs des matériels sidérurgiques peut
. Cela tient au fait que ces matériels évoluent
lement, que les avantages qu'on peut tirer
normalisation ne sont pas toujours d'une
vidence et surtout que ceux-ci ne se font
à long terme. A une époque où les crédits
sement sont généralement limités, on a ten-
sacrifier les investissements productifs à
ne aux investissements d'une rentabilité
nais plus immédiate.

ɪdant, l'exemple suivant montre bien tout l'in-
la normalisation appliquée à une usine
aurait pu rapporter à sa direction si elle
rsuivi l'effort d'investissement qu'elle avait
au départ. Il s'agissait d'une aciérie Martin
le cinq fours débitant sur un blooming, un
gets, un train à tôles fortes, un train à tôles
et plusieurs trains à tôles fines. Les ponts
étaient au nombre d'une cinquantaine de
s, avec des forces de levage échelonnées
) tonnes en passant par 7,5 - 8 - 10 - 12 -
20 - 25 - 30 tonnes, etc.

tude de normalisation a montré qu'on pou-
acer les chariots de 5 - 7,5 - 8 et 10 tonnes
hariots unifiés de 10 tonnes, ceux de 12 - 15
nes par des chariots unifiés de 16 tonnes.
types de chariots auraient pu se monter,
ɪds frais de transformation, moyennant un
ɪt des voies par interposition d'entretoises
sommiers des appareils, sur 25 ponts. Les
tretien de l'ensemble des ponts de cette
usine représentaient, à l'époque, environ 25 % des frais totaux d'entretien, y compris les réfractaires.

Le chef d'entretien de cette usine a obtenu les crédits pour l'achat de 4 chariots unifiés et, si cet effort avait été poursuivi, il est probable que la valeur relative des frais d'entretien des ponts aurait été en diminuant de façon sensible. Il était en effet prévu de ne plus réparer les chariots sur place, mais de les remplacer progressivement par les chariots unifiés qui seraient remis en état en atelier (échange standard).

L'échange d'un chariot après modification du pont et standardisation du schéma électrique demandait aux levageurs et ouvriers d'entretien environ 4 heures. L'effort de normalisation n'ayant pas été poursuivi faute de crédits, l'usine n'a pu bénéficier des gains de frais d'entretien et de diminution des stocks que cette action laissait espérer.

Dans une autre usine lorraine, un tel effort, mais de moindre envergure, a pu être mené à terme. Il s'agissait d'une usine sidérurgique comportant hauts fourneaux, aciérie Thomas et laminoirs de petits et moyens profilés. Une étude de standardisation des matériels a permis de reclasser certains ponts roulants provenant de constructeurs divers en trois groupes :

13 ponts à palonnier de 6 t,

8 ponts à palonnier de 10 t,

6 ponts à palonnier de 25 t.

L'unification des réducteurs, paliers, tambours, galets, a permis de diminuer considérablement les temps d'arrêt des appareils pour l'entretien ; les pièces de rechange ont été réduites à ce qu'il fallait pour l'équipement de 2 appareils de 6 t et de 10 t et un appareil de 25 t. De plus, le service d'entretien a pu donner satisfaction au bureau des études en plusieurs occasions en montant des ponts roulants neufs dans des délais très réduits (de l'ordre de 4 mois), la charpente seule étant sous-traitée au commerce.

Un autre exemple plus significatif encore, tiré lui aussi des ponts roulants, nous est donné par M. Kleine-Kleffmann dans un article de *Stahl und Eisen* paru en septembre dernier. Il s'agit de l'effort de normalisation entrepris par les August Thyssen Hüttenwerke entre 1960 et 1970. La normalisation des ponts a consisté à appliquer progressivement, à près de 400 ponts, des éléments normalisés et à substituer aux charpentes en treillis des poutres en caisson. Cette normalisation s'est appliquée à 380 translations et 10 levages, sans compter le montage partiel d'éléments unifiés sur tous les ponts chaque fois que la substitution était possible. En conclusion, l'auteur précise que, malgré l'érosion monétaire, la valeur de l'immobilisation représentée par les pièces de rechange des ponts roulants des A.T.H. n'était plus, évaluée en D.M., en 1970, que le tiers de ce qu'elle était en 1960.

M. Kleine-Kleffmann précise encore qu'un pont roulant du commerce acheté sans tenir compte des normes d'usine exige, pour les rechanges, un investissement supplémentaire de 20 %, alors qu'un pont roulant construit avec des éléments unifiés exige des pièces de rechange dont le montant tombe à moins de 6 % de la valeur du pont, cette proportion devenant encore plus faible avec un nombre croissant d'appareils.

M. Kleine-Kleffmann, pour rendre encore plus frappant l'avantage procuré par la normalisation, l'applique à une usine nouvelle capable de produire annuellement 10 millions de tonnes de lingots. D'après lui, cette usine reviendrait à 13-14 milliards de francs. Les investissements supplémentaires en pièces de rechange pourraient être évalués à environ 5 % de l'investissement total, soit 700 millions de francs. Une économie de 1 % sur ces investissements de rechange conduirait à économiser 7 millions de francs (soit 700 millions d'anciens francs).

C'est un aspect de la normalisation qu'il convient de ne pas oublier et dont les bureaux d'études ne sont pas toujours suffisamment conscients.

Les cahiers des charges et recommandations.

Lorsqu'en 1953 fut créée, par la Chambre Syndicale, la Commission de la Productivité, un certain nombre d'ingénieurs appelés à œuvrer au sein du groupe de travail « Entretien » ont été unanimes à reconnaitre qu'il fallait mettre un terme à la diversité des matériels proposés par les constructeurs pour résoudre des problèmes identiques. Cette diversité conduisait chaque fois à refaire des expérimentations, à procéder à de nouvelles mises au point et introduisait un matériel de rechange et de sécurité d'autant plus abondant que les installations étaient plus importantes, plus compliquées et plus dispendieuses. Par ailleurs, ils constataient qu'il y avait loin d'y avoir unanimité dans la façon de voir des constructeurs dont les points de vue étaient basés souvent sur des arguments commerciaux. C'est de cette considération que sont nés les « Cahiers des charges » et autres « Spécifications » établis par des ingénieurs spécialistes des sociétés sidérurgiques, en collaboration avec les Syndicats des Constructeurs et, bien souvent, avec l'avis de sommités scientifiques. Ces documents ont pour but de préciser les exigences des ingénieurs d'entretien dans la construction des matériels en vue de répondre à la sécurité du personnel, à la bonne tenue des pièces et aux impératifs de l'exploitation.

C'est ainsi, qu'entre autres, furent élaborés et rédigés :

— le « Cahier des Charges pour la construction des ponts roulants destinés à la sidérurgie », accompagné des « Directives pour le contrôle des ponts roulants sidérurgiques au cours de leur étude et de leur construction »,

tion dans le cadre d'une usine, voire même parfois dans celui d'une société, mais rarement au sein de la profession sidérurgique. Conscients de l'inconvénient de ces solutions partielles qui ne permettaient pas de tirer tous les avantages de la normalisation, les ingénieurs du « Groupe de travail Entretien », puis ceux des Commissions : « Standardisations mécaniques et standardisations électriques », se sont astreints à étudier et à rédiger des normes qui sont applicables, non seulement à la construction des usines nouvelles, mais également à la modernisation des installations anciennes chaque fois que c'est possible et rentable.

Ces travaux ne sont entrepris que si le sujet n'a pas encore été traité par notre Organisme National AFNOR ou si une norme existante ne peut s'appliquer aux matériels mis en œuvre par notre profession. Parfois, la normalisation se borne à faire un choix parmi les matériels proposés par l'AFNOR pour ne retenir que ceux qui sont d'un emploi plus fréquent en sidérurgie. Parmi les exemples d'unification cités ci-après, certains ont été enregistrés par l'AFNOR sur proposition du Bureau de Normalisation de la Sidérurgie pour devenir norme nationale.

Un des premiers problèmes posés aux ingénieurs normalisateurs a été celui de l'unification des galets des ponts roulants. Les enquêtes lancées à l'époque dans les usines ont montré que les dimensions des galets variaient à l'infini, tant dans leurs diamètres que dans la largeur des tables de roulement, aussi bien que dans le diamètre des alésages ou la longueur des moyeux. La normalisation ne pouvait pas se faire sur les anciennes conceptions de matériels et c'est pourquoi la Commission s'est orientée vers une construction plus évoluée et d'entretien plus facile : la construction à boîtard qui est appliquée presque exclusivement à l'heure actuelle. On a retenu six diamètres de galets et six largeurs de rails, ce qui fait en tout 13 galets normalisés avec 13 boîtards pour remplacer les milliers de types de galets. Malheureusement, cette construction élaborée ne peut pas toujours être utilisée dans les anciennes halles malgré tout le soin qui a été apporté à réduire les cotes d'encombrement extérieur.

En même temps que la normalisation des galets, la pression de Hertz maximale était définie : les ingénieurs d'entretien savent bien que les usures exagérées de rails et de galets proviennent en grande partie du dépassement de cette limite. Une règle de calcul très précise a été mise au point avec les spécialistes : elle devrait permettre à l'avenir d'éviter les cas difficiles et souvent insolubles qui se présentent encore parfois dans nos usines.

Il faut aussi mentionner l'unification des portées de ponts roulants : il convient qu'à l'avenir l'espacement des colonnes des halles soit fonction de la portée normalisée des ponts et non plus l'inverse. On peut en effet déplorer par exemple que deux halles voisines de laminoirs aient donné lieu à des portées respectives de 29,800 m et de 29,450 m, alors qu'une portée normalisée de 30 m aurait permis d'utiliser les mêmes éléments de translation et d'unifier les modules des charpentes des ponts et des halles sans investissement supplémentaire.

Le problème des réducteurs a été résolu par la publication d'une norme établie par les principaux constructeurs français, en collaboration avec les ingénieurs d'étude et d'entretien de notre Commission. Les spécifications très précises ont permis de répondre aux exigences des services d'entretien, même dans les cas les plus sévères d'utilisation. Les carters en acier moulé ou mécanosoudé rendent ces appareils très résistants aux chocs et offrent des possibilités de remise en état très appréciées des ateliers de réparation. La norme des réducteurs à arbres parallèles prévoit 12 tailles d'appareils pour 13 rapports de réduction différents, tailles et rapports de réduction étant échelonnés suivant la série Renard. Les couples PV s'échelonnent de 125 à 8 400 m.kg. Tous les réducteurs de même taille sont parfaitement interchangeables quel que soit leur constructeur. La norme s'est attachée à laisser toute liberté à la conception interne de ces appareils pour ne pas entraver le progrès technologique.

Les mêmes points de vue ont prévalu pour l'établissement des normes de réducteurs verticaux à arbres parallèles et pour celles des réducteurs horizontaux à arbres perpendiculaires. Les bouts d'arbres permettent aussi bien les clavetages classiques que les montages frettés.

Ces séries de réducteurs permettent donc de résoudre la majorité des problèmes qui se posent dans la construction des usines modernes ou dans l'amélioration des installations anciennes. Il faut donc déplorer certaines initiatives particulières de services d'études qui conduisent à exiger des fournisseurs des modifications des normes comme, par exemple, le dimensionnement des bouts d'arbre.

L'intérêt de la normalisation des réducteurs est mis particulièrement en évidence par l'arrêt des installations anciennes. Les études de récupération des matériels de rechange ou de sécurité ont montré que bon nombre de réducteurs en stock n'avaient jamais été utilisés ; leur existence était cependant nécessaire pour garantir la sécurité des installations. L'existence d'une norme générale au moment de la conception des installations aurait permis de garantir la sécurité avec des immobilisations moindres et permettrait aujourd'hui de réutiliser en grande partie un matériel en parfait état qui pourrait même retrouver un emploi dans des installations nouvelles.

Les enquêtes et études conduites sur les accouplements semi-élastiques à broches ont permis de définir, d'unifier et d'adopter 9 tailles de manchons dont les couples nominaux couvrent la gamme de 5 à 400 mΛ daN, donc toutes les applications courantes en sidérurgie.

Ces accouplements peuvent se combiner avec les poulies de frein normalisées pour service normal et service intensif. Le travail d'étude et de recherche a été long et fastidieux en raison de la variété des types utilisés dans l'ensemble des usines. Ce travail a été beaucoup plus simple quand il s'est agit d'unifier les accouplements à denture intérieure dont l'emploi était plus restreint au moment où les études de normalisation ont été engagées. Il en a été de même pour les transmissions à cardan où notre normalisation a pu être établie avant qu'une prolifération trop grande des types rende nos travaux plus malaisés et plus longs. La spécification d'une méthode de calcul unifiée conduira les bureaux des études à des solutions semblables pour des données identiques.

Les organismes de contrôle des appareils de levage préconisent le recuit périodique des crochets. Cette mesure qui est appliquée dans certaines sociétés françaises et qui est préconisée en Allemagne par la norme DIN 15405, est d'une application difficile dans les usines anciennes qui se trouvent en présence de nombreux crochets de toutes provenances. Or, un tel recuit périodique demande à être conduit de façon précise, en tenant compte de la qualité de l'acier employé pour la fabrication et de la masse du crochet. Il y a donc lieu d'établir un dossier pour chaque crochet, avec un prélèvement pour l'analyse du métal. La normalisation des crochets « Sidérurgie » exécutés en acier XC 18 s permet de résoudre progressivement ce problème, même dans les usines anciennes, par remplacement progressif des crochets et moufles anciens par les types unifiés, en procédant aux regroupements nécessaires : les crochets de 100 kN remplaçant ceux de 70 et 80 kN, ceux de 160 kN ceux de 120, 140 ou 150 kN, etc.

Les quelques exemples précédents faisaient état de matériel mécanique. Dans le domaine proprement sidérurgique, la normalisation n'en a pas été moins active. Quand il y a 20 ans, les premières poches à laitier en acier faisaient leur apparition, la nécessité d'obtenir des meilleurs prix d'achat conduisit les usines utilisatrices à les unifier. C'est ainsi que naquirent les poches de 8 m^3 et de 10 m^3 qui, par l'intermédiaire du B.N.S., furent normalisées par l'AFNOR. Les normes NF A 72 112 et A 72 113 définissent dimensions et tolérances, ainsi que la qualité de l'acier.

Les vannes à vent chaud et, en général, les armatures des hauts fourneaux posaient souvent des problèmes de dimensions aux ingénieurs d'entretien chaque fois qu'il s'agissait d'utiliser un appareil à plusieurs endroits. Les enquêtes entreprises montrèrent que bien souvent, pour un même constructeur et pour débits identiques, l'écartement entre brides ou les diamètres de perçage ne correspondaient pas. La norme NF A 72 115, étudiée par la Commission, est venue mettre de l'ordre dans ce domaine tout en prévoyant l'avenir, avec extension jusqu'à 1 400 mm d'orifice.

Parallèlement, l'étude des brides pour les con de gros diamètre en PN 6 pour le vent et l était menée jusqu'aux diamètres de 2 400 mr norme vient d'être révisée et étendue ju 3 600 mm. Elle porte la référence NF A 72 1 devrait rendre les plus grands services dan études de hauts fourneaux actuellement en cours est basée sur la directive ISA 5a/2 en sorte q est d'un usage international.

On peut en dire autant de la norme relati repérage des tuyauteries des usines sidérurg qui, après mise en conformité avec la recomman ISO/R 508, a été adoptée par l'AFNOR sous NF 104 en 1969.

Nous insistons particulièrement pour que les nes sidérurgiques, surtout celles qui sont neuve en construction, adoptent les teintes et principe repérage de la norme dont le caractère est int tional plutôt que d'inventer, au niveau de ch usine, voire même de chaque service, un nou code qui peut prêter à confusion.

La Commission « Electricité » ou « Stan électriques » peut mentionner de nombreuses é de normalisation dont certaines ont une portée c dérable.

La principale est celle qui est relative aux mo asynchrones à rotor bobiné. Basée sur les tra de la Commission Electrique Internationale (avec la large collaboration du Syndicat Général Construction Electrique, cette norme ne met pas lement à la disposition des bureaux d'études e services électriques des usines sidérurgiques gamme de 12 moteurs dont les carcasses de mination internationale sont rigoureusement inter geables, mais elle précise en outre une méthode leur choix qui évite les errements que nous tous vécus. Désormais, quand on connait les car ristiques de la machine à actionner et son mod travail, il n'est plus possible de commettre de gr erreurs dans le choix du moteur correspondar pratique a montré, au cours des dernières an que l'application des spécifications de la norme les meilleures répercussions sur les problèmes tretien.

De plus, une étude récente, basée sur c aurait pu être fait dans ce domaine dans une moderne, a montré qu'on aurait pu réduire de non négligeable les investissements et les stocl rechange. Les améliorations constructives pr dans les spécifications, en particulier carcasse acier, rendent ces moteurs particulièrement résis et beaucoup moins vulnérables aux vicissitudes service sidérurgique. De plus, leurs bouts d'arbre vus pour des manchons clavetés peuvent, le échéant, être prévus pour des montages par fre Il faut cependant regretter que certains utilis demandent aux constructeurs la modification d bouts d'arbre.

ceux des sociétés Usinor et Wendel-Sidélor, se sont attachés à définir et à mettre au point, après de nombreuses études et recherches, une présentation des documents qui devront accompagner la fourniture. Ce sont les « spécifications pour l'établissement des documents techniques ». Il est en effet évident qu'il est plus facile au constructeur d'établir des schémas, listes de pièces de rechange, croquis d'entretien préventif, dossiers machines, etc., au moment de l'élaboration des plans avec du personnel qui connait parfaitement le matériel proposé, qu'après coup, chez le client, avec des techniciens qui n'auront pas forcément participé au montage de l'installation et qui devront obligatoirement compulser de nombreuses archives avant d'être parfaitement au courant du nouveau matériel. Les ingénieurs d'entretien insistent particulièrement pour que ces « spécifications » soient non seulement scrupuleusement respectées par les fournisseurs, mais qu'elles soient systématiquement exigées par les sociétés clientes. Les gestionnaires des crédits de travaux neufs doivent se rendre compte qu'une économie dans ce domaine, à la commande, engendre par la suite une dépense beaucoup plus importante à la mise en exploitation de l'installation.

Ce n'est qu'au prix du respect scrupuleux de ces exigences que l'unification des documents sera obtenue pour le plus grand bien :

— des constructeurs qui connaitront toujours par avance la composition et la forme du dossier qu'ils auront à fournir quel que soit leur client,

— et de celui des utilisateurs qui pourront utiliser directement les documents fournis.

Il faut noter qu'on retrouve les mêmes préoccupations et les mêmes tendances dans toutes les autres sidérurgies européennes.

Etudes à poursuivre.

L'évolution de la technique ne permet pas au normalisateur de considérer sa tâche comme achevée.

Il est donc nécessaire, non seulement de poursuivre la normalisation des matériels nouveaux, mais aussi de réviser périodiquement les documents existants : normes, spécifications, cahier des charges, etc.

En ce qui concerne le premier point, un des problèmes les plus urgents à résoudre est celui des transmissions oléodynamiques qui sont de plus en plus appliquées dans nos installations et conduisent à un foisonnement de matériels les plus variés. Ce travail a deux objets simultanés :

— d'une part, la mise au point avec les constructeurs, le CETOP et l'ISO, des normes pour les éléments constitutifs des installations afin de permettre leur interchangeabilité quelle que soit leur provenance et d'arriver à réduire la prolifération des appareils appelés à assurer des fonctions identiques,

— d'autre part, la rédaction d'un cahier des charges à l'usage des constructeurs pour définir les exigences des services d'exploitation et d'entretien dans l'établissement des installations en matière de conception, de vérification des éléments et de soins à apporter au montage.

Il est un autre domaine, relativement nouveau lui aussi, qui demande d'être étudié et mis à la portée des personnels d'exploitation et d'entretien non spécialistes : c'est celui des réseaux de distribution d'oxygène dans les usines. La Commission de Sécurité de la CECA à Luxembourg étudie, depuis plusieurs années, cette question qui est en évolution permanente. Il importe d'étudier les documents que cet organisme a publiés et d'en tirer des directives pour l'établissement de tels réseaux de distribution. Par ailleurs, il est temps de songer à la normalisation des matériels proposés par les constructeurs, problème qui n'est pas du ressort de la CECA.

Les distributions de gaz de hauts fourneaux sont bien connues des sidérurgistes. Cependant, les règles les plus diverses président à leur conception, les législations sur cette question étant généralement plutôt sommaires. Là encore, un document directif à l'usage des bureaux des études et des services d'entretien serait de la plus grande utilité.

La normalisation des éléments mécaniques doit se poursuivre par celle des réducteurs à vis dont l'amélioration des rendements rend l'usage de plus en plus fréquent en sidérurgie.

Quant aux révisions périodiques des documents existants, elles constituent une activité importante du normalisateur. La norme sur les câbles d'acier, qui a été à la base de l'introduction des câbles à fils parallèles dans la sidérurgie, pourrait être revue pour orienter les utilisateurs vers l'emploi systématique de câbles à fils parallèles, à âme métallique et à fils étirés après zingage. Les travaux du représentant hollandais, M. van de Moortel, au TC 96 de l'ISO, ainsi que ceux de M. Lefèvre, aux Charbonnages de France, sur la lubrification des câbles, ont montré tout l'intérêt d'une telle solution.

La norme sur les moteurs asynchrones à rotor bobiné fait l'objet d'une étude pour rapprocher les points de vue des sidérurgistes français et allemands en vue de définir une série commune aux deux pays et d'unifier les méthodes de calcul. Les mêmes échanges de vue ont trait à la norme sur les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit, d'usage général.

Le Cahier des charges des lubrifiants fait l'objet d'une refonte qui conduit à la rédaction d'une fiche technique propre à chaque lubrifiant. Celui des transporteurs à courroie, remis à jour après avoir servi de base pendant plus de dix ans aux commandes des installations nouvelles, va être publié sous une forme rajeunie...

Mais arrêtons là cette liste incomplète des travaux qui doivent être entrepris ou poursuivis.

IMPÉRATIFS DE LA NORMALISATI(

La normalisation doit être le souci cons chef d'établissement au même titre que la pro et l'efficacité dont elle est l'un des facteurs.

Chaque usine a intérêt à normaliser, c'e à utiliser les normes existantes, à adapter ces à ses besoins propres en faisant des choix p tiels et à étudier et proposer de nouvelles chaque fois que le besoin s'en fera sentir. [dernier cas, ce seront des normes propres à ou à la société qui pourront, peut-être par l par l'intermédiaire de l'A.T.S. et du Bureau de lisation de la Sidérurgie, être proposées à l'. d'où l'intérêt de désigner, dans chaque usine gique, un technicien qualifié ou un ingénieur de la normalisation et du contrôle de son app

Notre siècle, du fait des transformations que nous constatons chaque jour dans les d intellectuels, scientifiques, techniques est en évolution. Le normalisateur doit être convain fait un travail de Pénélope et que la norme, mi rieusement au point aujourd'hui, ne sera plus quelques années plus tard : elle devra être remplacée ou purement et simplement suppr

Mais le normalisateur ne doit pas se déc car, pendant les années d'une existence parfoi mère, la norme aura maintenu une certaine di évitant les dispersions et l'anarchie. La norma est une technique vivante et évolutive qui d au normalisateur d'être jeune, sinon physiquem moins intellectuellement ; il devra être, dans maine, constamment au fait des techniques modernes, que ce soit dans les techniques trielles ou que ce soit dans les techniques éc ques, financières (banques, assurances, adm tion, etc.).

Cette évolution peut être imposée aussi au que par des nécessités scientifiques ou techn ce sera le cas lorsque l'ISO aura mis au po recommandation conduisant à la révision d'une nationale ou lorsque la Conférence Internation Poids et Mesures aura décidé le changement scientifiques. On se rappelle la suppression force il y a dix ans environ et la généralisa newton (N) peu employé précédemment.

La normalisation a un rôle essentiellem taire ; elle doit être source de profits. La norma n'est pas un but en soi : on ne normalise pa normaliser. Il ne faut pas enfermer les fabric constructeurs dans un carcan ; il faut que puissent donner libre cours à leur imaginatio leur esprit inventif dans le cadre qu'ils ont commun avec leurs professionnels et leurs nor teurs. Dans un produit, il ne faut donc normali les caractéristiques (cotes d'interchangeabilité, fications de qualité, etc.) qui présentent un ré rêt pour l'usager ou qui répondent à ses besc

médiats. Il faut, par conséquent, moins entrer dans les détails constructifs que définir, d'une façon précise, les résultats à obtenir et à garantir.

Il faut par ailleurs qu'une norme soit également rentable, c'est-à-dire qu'il ne faut pas qu'elle coûte plus cher à établir que le bénéfice qu'elle devra apporter lorsqu'on l'appliquera. Il ne faut donc pas que, comme le dit M. Frontard, la valeur ajoutée par un effort de perfectionnement de la norme soit si faible que le temps perdu pour la remise du projet sur le métier ne soit plus compensé.

La normalisation doit suivre les techniques avec suffisamment de recul pour qu'une certaine stabilisation des théories puisse être déjà admise. Par contre, si la normalisation commençait trop tôt, les normes seraient déjà périmées avant d'être entrées en application et le travail de normalisation aurait été fait en pure perte.

Une fois la normalisation décidée pour un objet bien défini, dans un domaine déterminé, il convient de mener la procédure avec rapidité. L'âge d'une norme ne compte pas depuis sa publication, mais depuis une date moyenne entre le début de sa conception et l'achèvement de la partie principale de sa rédaction. Par ailleurs, la rapidité réduit les frais généraux de rédaction et de publication de la norme.

La normalisation ne doit pas commencer trop tard non plus, car les fabricants et constructeurs ne pouvant s'appuyer sur aucune norme donnent libre cours à leur propre inspiration ou ne considèrent avant tout que leurs intérêts commerciaux. Le normalisateur se heurte alors à une gamme invraisemblable de produits parmi lesquels il est difficile, sinon impossible, de dégager un choix. Si on arrive finalement à établir cette norme, elle n'est pas appliquée par les utilisateurs qui ont adopté un matériel différent. Une norme trop tardive est donc une norme inappliquée et, par conséquent, pratiquement inutile.

CONCLUSION

Quelles leçons peut-on tirer de près de vingt années d'expérience des groupes de travail des ingénieurs d'entretien de la sidérurgie ?

On peut dire sans hésiter que la normalisation doit être une affaire de direction. Dans la conduite d'une entreprise, les missions essentielles de la direction sont la planification, l'organisation et le contrôle. Ce sont précisément ces mêmes impératifs qu'on rencontre à un moindre degré dans les services de normalisation des usines. L'expérience a montré que les établissements où la normalisation est la plus efficace sont précisément ceux où la direction a apporté tout son appui aux normalisateurs.

Nous venons de voir que la normalisation doit avoir essentiellement un rôle utilitaire. C'est dire que les études de normalisation doivent être basées sur des besoins réels. Ce sont les utilisateurs qui ressentent le mieux ces besoins et qui peuvent le mieux les exprimer. Il est donc nécessaire, et même indispensable, qu'une liaison étroite existe entre les utilisateurs et les groupes de travail normalisateurs, que ceux-ci soient les Commissions de l'ATS, ou l'Association des Cadres de Normalisation (ACANOR), ou l'AFNOR.

Les Commissions de Standardisation de l'ATS sont particulièrement indiquées pour assurer la liaison avec ces organismes et transmettre les observations des utilisateurs.

Il a été dit qu'une norme est une donnée de référence résultant d'un choix collectif raisonné. Cela implique une collaboration étroite des utilisateurs, des services d'approvisionnements, des fabricants, des constructeurs et, bien souvent, d'organismes de contrôle et de sécurité tels que l'AIF, l'AINF, le GAPAVE, etc., dans les enquêtes, études, travaux préparatoires, élaboration et rédaction définitive des normes.

Nous remercions ici les constructeurs et en particulier leurs syndicats professionnels pour la collaboration éclairée qu'ils nous apportent depuis de nombreuses années.

Malheureusement, nos petits groupes de travail qui sont constitués, suivant les besoins, par des spécialistes de la profession, sont souvent squelettiques et les ingénieurs qui veulent bien se charger d'une étude particulière le font en plus de leur travail quotidien. Il serait désirable qu'ils trouvent, au sein de leur service ou de leur usine, un appui efficace qui permettrait d'accélérer et de faire connaître les travaux en cours et de donner une plus large audience à la normalisation.

Pour donner à la normalisation, qui est une technique vivante et évolutive, toute son efficacité, il faut que les procédures soient menées avec rapidité.

Nous retrouvons ici le problème des effectifs des groupes de travail et de collaboration des sociétés.

Lorsqu'une norme a été établie, il importe qu'elle entre en application et qu'une discipline librement consentie la mette en valeur et permette d'en recueillir les fruits. Dans les exemples que nous avons cités plus haut, nous avons noté au passage certaines réticences dans leur application intégrale.

Nous trouvons ces réticences du côté des utilisateurs ; elles proviennent de ce que l'organisation d'une usine repose sur la répartition des fonctions entre des services groupant des aspects différents de la technique et de la technologie qui ont à donner leur avis pour la construction et la marche des installations.

La définition de chacune des fonctions entraine des optiques différentes pour chacun des services responsables, ce qui peut conduire à des conflits d'idées.

Par ailleurs, certains utilisateurs, tout en admettant la norme, estiment à tort ou à raison qu'il y a lieu de lui apporter certaines modifications pour les applications propres à leurs installations.

Le moyen d'éviter ces réticences et ces divergences est de collaborer d'une façon plus large aux travaux des groupes de travail des commissions de façon à ce que tous les points de vue soient pris en considération pendant l'étude et l'élaboration de la norme. C'est pourquoi nous nous permettons de faire appel aux direction générales de toutes les sociétés pour qu'elles apportent aux commissions de Standardisation de l'A.T.S. un appui très large en leur déléguant les ingénieurs les plus qualifiés pour participer aux études en cours ou à venir.

Nous trouvons également certaines réticences dans l'application des normes du côté des bureaux des études. Ceux-ci sont tenus par des crédits et des délais. Ils sont soumis à l'influence des constructeurs et ils ont l'amour-propre de représenter le véritable maitre d'œuvre. Ces facteurs incitent à rejeter les délais nécessaires à l'étude d'une normalisation, à choisir le constructeur qui correspond le mieux au plan financier, même si celui-ci n'apporte aucun souci dans le sens d'une normalisation et enfin à ne pas considérer comme valables les propositions des autres services sous le motif de ne pas entrer dans ce plan.

Nous pensons que, comme cela se pratique dans certaines sociétés, la désignation, dans chaque bureau d'études, d'un ingénieur chargé de veiller à la promotion et à l'application de la normalisation, serait la solution la plus satisfaisante. Celui-ci, en liaison permanente avec le service de normalisation de l'établissement, serait au courant de tous les problèmes en cours d'examen, tant dans sa société que dans

discu

M. CHINI (Berlows Valvair) - Il faut un certain temps pour établir une norme et l'adopter. Il n'est pas pensable de la réviser à court terme.

Ne croyez-vous pas que malgré les avantages qu'elle apporte, la normalisation est un frein, ou une porte fermée à l'évolution technique ?

M. SCHOEPFER - Je donnerai la réponse suivante, en reprenant les termes de mon exposé. La normalisation ne doit pas venir trop tôt, elle ne doit pas non plus venir trop tard. Si elle vient trop tôt, on a tendance à figer quelque chose qui risque de bloquer l'évolution technique. La solution, je l'ai indiquée : il y a, à l'ATS, un organisme qui s'occupe

Par conséquent, s'il y a une collaboration intime entre les normalisateurs des constructeurs et ceux des utilisateurs, on ne doit pas, par la normalisation, arriver à bloquer l'évolution d'une technique.

Je pense donc qu'il serait possible de compter sur vous, dans le cas où vous auriez du matériel à présenter, intéressant à normaliser pour les sidérurgistes. Nous pourrions alors décider en commun s'il y a lieu de pousser la normalisation, ou au contraire, s'il faut différer et attendre que de nouveaux projets aient vu le jour.

Il y a en France un organisme qui est l'AFNOR, lequel, direz-vous, est un peu loin ; mais c'est un problème qui a été senti à l'AFNOR et c'est pourquoi celle-ci a poussé à la création de l'ACANOR : Association des Cadres en Normalisation, dont les sections recouvrent toute la France ; il y a une section dans le Nord, l'Est, la région parisienne, Rhône-Alpes, et il est question d'en créer une dans la région bordelaise.

Par conséquent, en œuvrant avec l'AFNOR, en particulier avec l'ACANOR, on peut arriver à saisir les problèmes qui se posent aux utilisateurs et on peut essayer de les mettre à l'étude avec les constructeurs qui, en participant à l'ACANOR, pourraient nous rendre les plus grands services.

7e CONGRES BIENNAL DE L'INTERNATIONAL DEEP DRAWING RESEARCH GROUP

(Amsterdam, 9-13 octobre 1972)

Ce Congrès se tiendra à l'International Congress Centrum RAI, Europaplein (banlieue sud d'Amsterdam).

Dix-neuf communications sont inscrites au programme.

La traduction simultanée est assurée en anglais, allemand, français.

Des visites d'établissements sont prévues.

Frais d'inscription : 250 Fl.

Renseignements complémentaires et inscriptions à :

7th Biennal Congress of the International
Deep Drawing Research Group
Congress Secretariat Organisatie Bureau
Amsterdam NV
P.O. Box 7205
Amsterdam
Pays-Bas
Tél. : 020-44 08 07.

●

SYMPOSIUM SUR LES MATERIAUX POUR L'ELECTROTECHNIQUE

(Bad Nauheim, 16-17 octobre 1972)

Organisé par la Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, ce Symposium se tiendra au Casino.

Vingt communications sont inscrites au programme, réparties entre les rubriques suivantes :

— Dilatation thermique, élasticité.
— Verres.
— Alliages pour résistances, alliages réfractaires.
— Alliages pour ressorts.
— Brasage.
— Contacts.
— Semi-conducteurs.

Renseignements complémentaires et inscriptions à :

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde
637 Oberursel (Ts) bei Frankfurt (M)
Adenauerallee 21
Tél. (06171) 40 81.

●

SEMINAIRE SUR L'ANISOTROPIE MECANIQUE DES METAUX

(Clausthal-Zellerfeld, 23-27 octobre 1972)

Ce séminaire, organisé par la Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, aura lieu à l'Institut für Metallkunde und Metallphysik de l'Université technique de Clausthal, sous la direction du professeur Dr. G. Wassermann.

Renseignements détaillés et inscriptions à :

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde
637 Oberursel (Ts) bei Frankfurt (M)
Adenauerallee 21
Tél. : (06171) 40 81.

●

JOURNEE SUR L'ASSEMBLAGE DES ACIERS INOXYDABLES PAR SOUDAGE ET AUTRES PROCEDES DE FIXATION

(Lille, 25 octobre 1972)

Cette Journée est organisée à l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie de Lille par la Chambre Syndicale des Producteurs d'Aciers Fins et Spéciaux et le Centre de Perfectionnement Technique.

Un service de cars assurera le transport des participants entre Lille et l'Ecole.

Le repas de midi sera pris en commun dans un des restaurants de l'Université.

Les droits d'inscription sont fixés à 200 F par personne. Ils donnent droit à la remise des textes des communications, à l'usage des transports spéciaux et à la participation au repas de midi.

Renseignements et inscriptions à :

Centre de Perfectionnement Technique
80, avenue du 18 juin 1940
92500 Rueil-Malmaison
Tél. : 967-77-95, poste 006.

●

SYMPOSIUM SUR LE LAMINAGE

(Francfort-sur-le-Main, 2-3 novembre 1972)

Organisé par la Deutsche Gesellschaft für Metallkunde, ce symposium se tiendra à la Dechema Haus, Theodor Heuss Allee 25.

Onze communications sont inscrites au programme concernant notamment les principes du laminage des métaux lourds et légers, les caractéristiques du laminage à froid et à chaud, la planéité des bandes, et les problèmes économiques soulevés par le laminage.

Renseignements complémentaires et inscriptions à :

Deutsche Gesellschaft für Metallkunde
637 Oberursel (Ts) bei Frankfurt (M)
Adenauerallee 21
Tél. (06171) 40 81.

●

JOURNEE D'INFORMATION SUR LA RECHERCHE TECHNIQUE ET L'ENVIRONNEMENT

(Paris, 24 novembre 1972)

Organisée par l'Association Nationale de la Recherche Technique, cette Journée aura lieu, sous forme de débat public, de 9 heures à 12 h 30 à l'Hôtel Intercontinental, Salon Concorde, 3, rue de Castiglione, Paris-1er.

Renseignements et cartes d'invitation au siège de l'A.N.R.T., 44, rue Copernic, Paris-16e, tél. 553-20-50.

●

CONCOURS INTERNATIONAL DE MOULAGE SOUS PRESSION EN ALUMINIUM 1972

L'Organisation Européenne des Affineurs d'Aluminium (O.E.A.) organise tous les trois ans un concours international de la meilleure pièce d'aluminium moulée sous pression.

Le concours 1972 aura lieu en automne à Londres. Il est ouvert aux fonderies autonomes ou intégrées ainsi qu'aux utilisateurs de pièces moulées sous pression du monde entier.

Un jury international examinera les pièces en appréciant les critères suivants :

— Concours n° 1 : La meilleure pièce moulée.

— Concours n° 2 : Originalité ou nouvelle application.

Dans chaque concours, trois prix seront décernés ainsi que des certificats de mention spéciale.

Les prix seront attribués officiellement au cours de la réunion d'information de moulage sous pression qui se tiendra le 6 mars 1973 à Londres.

Au cours de cette journée aura lieu une exposition de pièces moulées en aluminium et en particulier de celles primées aux deux concours.

La presse et les revues spécialisées du monde entier seront informées des résultats de ces concours.

La date limite des envois de pièces est le **15 novembre 1972.**

Pour obtenir des formulaires d'inscription, s'adresser au :

Syndicat Général des Affineurs de France
12, rue de Bourgogne
75007 Paris
Tél. : 551-13-42
Télex 27499.

●

CONGRES INTERNATIONAL DE SIDERURGIE

(Düsseldorf, 27-30 mai 1974)

Ce Congrès, dont le thème est :

Métallurgie de la fabrication de la fonte et de l'acier

est organisé par le Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), avec le concours de nombreuses Sociétés ou Instituts du monde entier, dont la Société Française de Métallurgie et l'Institut de Recherches de la Sidérurgie (IRSID) pour la France.

Le thème se divise en 5 grandes rubriques :

— Matériaux pour l'élaboration de la fonte et de l'acier.

— Elaboration de la fonte.

— Fabrication de l'acier.

— Traitements métallurgiques spéciaux pour les aciers fins.

— Procédés de coulée.

Les auteurs désirant proposer une communication devront en envoyer un résumé d'environ 1 000 mots, en double exemplaire, **avant le 1er août 1973.**

L'acceptation sera confirmée pour le 15 novembre 1973. Le texte complet devra alors être fourni pour le **1er février 1974.**

Langues officielles : allemand, anglais, français.

Renseignements et inscriptions auprès de :

Verein Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh)
4 Düsseldorf 1
Postfach 8209
Tél. : 0211/10151
Télex 85 82 512.

SOCIETE ANONYME FRANCAISE POUR LA FABRICATION DES
Tôles Perforées de MAUBEUGE NORD
• Tôles perforées • Tôles gaufrées
• Tôles découpées et pliées
S.A.F.T.P., 19, ROUTE D'AVESNES, MAUBEUGE (59) Tél. MAUBEUGE (20) 64-67-07 BOITE POS. 153 TELEX 82-849

GROUPEMENT DE L'INDUSTRIE SIDERURGIQUE

Siège Social 5 bis, rue de Madrid - PARIS 8e
Services d'Information 11, rue de Madrid - PARIS 8e
Téléphone : 522-83-00
R.C. Seine 55 B 7508 INSEE 834 75 108 0 095

Création

Société anonyme constituée le 30 juillet 1946.

Capital

280 000 000 F, réparti en 5 600 000 actions de 50 F non cotées.

Actionnaires

50 Sociétés sidérurgiques et exploitantes de mines de fer, réalisant plus de 95 % de la production française d'acier brut.

Conseil d'Administration

Jacques FERRY	Président-Directeur général
Paul BASEILHAC	Président-Directeur général CHATILLON-COMMENTRY-BIACHE
Maurice BORGEAUD	Président-Directeur général USINOR
Pierre CELIER	Membre du Directoire Directeur général WENDEL-SIDELOR
Louis DHERSE	Président-Directeur général SOLLAC
Jean HOE de LA COLOMBE	Administrateur-Directeur général DENAIN NORD-EST LONGWY
Henri JOLIVET	Vice-Président PECHINEY UGINE KUHLMANN
Pierre LION	Vice-Président honoraire Mét. de NORMANDIE
Henri MALCOR	Président d'Honneur CREUSOT-LOIRE
Marcel PETIET	Président IRSID

Comité des Engagements

Louis BEAUPÈRE
Jean HACHETTE
Marcel TROCMÉ

Direction

Jacques FERRY	Président-Directeur général
René CHÂTEL	Directeur général
Georges HENRY	Directeur général adjoint
Raymond RAS	Directeur

émetteurs privés français. Bénéficiant du support de la Profession tout entière et disposant néanmoins, de par sa structure et la nature de son mandat, d'une parfaite autonomie de gestion, le G.I.S. est devenu l'instrument indispensable d'une politique constant renouvellement.

Comment, directement par son crédit propre, qui lui vaut à juste titre la confiance de l'épargne, et, indirectement par l'action de ses filiales, le G.I.S. est à même de jouer ce rôle, tel est l'objet du présent document.

ses activités

Caution de prêts

Le G.I.S. donne sa garantie pour certains prêts accordés à ses actionnaires par l'Etat, les organismes de financement spécialisés et la C.E.C.A. Au 31 décembre 1971, le total des garanties données depuis l'origine s'élevait à 1 805 millions de francs, dont 1 338 millions de francs conjointement avec la Société de Garantie Mutuelle de la Sidérurgie.

Emprunts obligataires

Depuis 1953, le G.I.S. a émis dans le public 21 emprunts, d'un montant global de 7 110,5 millions de francs, dont le produit a été réparti entre ses actionnaires :

			En millions de F	
6 %		1953	80	indexés
6 %		1954	200	
5,50 %		1955	215	
5,75 %		1956	225	
6 %		1957	220	
6 %		1958	290	
5 %		1959	330	classiques avec primes de remboursement fixes ou progressives
5 %		1960	340	
5 %		1961	450	
5 %		1962	465	
5 %		1963	315,5	
5 %	+ 0,10 %	1964	600	avec formule ACIER-INVESTISSEMENT
5,75 %	+ 0,11 %	1965	276	
6,25 %	+ 0,12 %	1966	350	
6 3/8 %	+ 1/8 %	1967	350	
6 7/8 %	+ 1/8 %	1968	450	
8 1/8 %	+ 1/8 %	1969	285	
8 3/8 %	+ 1/8 %	1970	444	
8 3/8 %	+ 1/8 %	1971 (mars)	300	
8 1/2 %	+ 1/8 %	1971 (sept.)	425	
8,75 %		1972 (janv.)	500	classique
			7 110,5	

Cotation

son portefeuille

En garantie des opérations qu'il réalise, le G.I.S. dispose de fonds de couverture qui atteignaient, au 31 décembre 1971, **646 723 000 F (1)**

dont	
capital, primes d'émission et réserves	317 278 000 F
fonds de garantie	329 445 000 F

A la même date, ces fonds étaient placés comme suit :

Fonds d'Etat, obligations et divers		**51,43 %**
Fonds d'Etat	1,27 %	
Obligations du secteur public	69,52 %	
Obligations du secteur privé	22,50 %	
Obligations libellées en monnaies étrangères	1,65 %	
Prêts divers	5,06 %	
	100 %	
Actions		**18,73 %**
Banques et Sociétés financières	21,16 %	
Sociétés Immobilières d'Investissement Conventionnées	16,97 %	
Sociétés d'Investissement	55,11 %	
Sociétés diverses françaises	6,03 %	
Sociétés diverses étrangères	0,73 %	
	100 %	
Filiales et participations de caractère professionnel		**13,06 %**
Acier-Investissement (2)	77,19 %	
Lotrasid	14,55 %	
Sideco	6,24 %	
Diverses	2,02 %	
	100 %	
Immeubles		**1,60 %**
Liquidités et placements divers		**15,18 %**
		100 %

et ses filiales

acier-investissement

Société de Gestion de Valeurs Sidérurgiques
(Société d'Investissement - Ordonnance du 2 novembre 1945)

Création
Société anonyme constituée le 11 septembre 1964.

Capital
175 000 000 F, réparti en 1 750 000 actions de 100 F.

Actionnaires
Le capital est actuellement détenu en quasi-totalité par le G.I.S. (98 %). Dans les années à venir, il sera réparti entre des actionnaires de plus en plus nombreux, les obligations émises de 1964 à 1971 par le G.I.S. bénéficiant, au moment de leur remboursement, d'un droit à l'attribution d'actions ACIER-INVESTISSEMENT.

Conseil d'Administration
Georges HENRY — Président-Directeur général
G.I.S. — représenté par René CHÂTEL
LOTRASID — représentée par Raymond BAS

Direction
Jean-Marie WURMSER — Directeur

Cotation
Bourse de Paris, cote de la Compagnie des Agents de Change, rubrique N° 4, "Sociétés d'Investissement et de Portefeuille"

Activité
Gestion d'un portefeuille de valeurs mobilières. Les placements, qui restent axés sur les valeurs sidérurgiques, s'étendent également aux autres grands secteurs économiques tant en France qu'à l'étranger.

Structure du portefeuille au 30/6/72

		Valeur boursière au 30/6/72	en %
Valeurs françaises			
Actions		108 494 717	56,12
dont (en % du portefeuille)			
— Métallurgie	16,73 %		
— Banques et Stés Financières	5,71 %		
— Sociétés Immobilières d'Investissement Conventionnées	4,61 %		
— Sociétés d'Investissement et de Portefeuille	6,07 %		
— Matériel électrique	2,82 %		
— Produits chimiques	4,50 %		
Obligations		46 141 615	23,87
Valeurs étrangères			
Actions		36 294 592	18,77
Obligations convertibles		2 399 620	1,24
Total du Portefeuille		193 330 544	100,—
Liquidités		13 914 394	
Valeur liquidative		207 244 938 soit	**118,42 F** par action

Cours de l'action

1969		1970		1971		1972 (1er semestre)	
+ haut	+ bas	+ haut	+ bas	+ haut	+ bas	+ haut	+ bas

lotrasid

Société de Location de Matériel et de Transports pour la Sidérurgie

Création
Société anonyme constituée le 20 décembre 1962.

Capital
20 800 000 F, réparti en 208 000 actions de 100 F non cotées.

Actionnaires
G.I.S. (85,57 %)
SOCIETE de BANQUE et de PARTICIPATIONS (10 %)
Principales sociétés sidérurgiques (4,43 %)

Conseil d'Administration
Jacques MOUTON — Président-Directeur général
Jacques FERRY — Vice-Président
Albert MICHEL
G.I.S. — représenté par Jean-Marie WURMSER
SOCIETE de BANQUE et de PARTICIPATIONS — représentée par Henri LONJON
CREUSOT-LOIRE — représentée par René DESJARDINS
CHATILLON-COMMENTRY-BIACHE — représentée par Jean RICHÉ
Sté Nouvelle des Aciéries de POMPEY — représentée par René TOUCHARD
SOLLAC — représentée par François RIVET
USINOR — représentée par Daniel GUÉRITHAULT
WENDEL-SIDELOR — représentée par Jacques SIGWARD

Direction
Raymond BAS — Directeur général

Activité
- Exploitation d'un parc de wagons de particuliers de grande capacité, destinés essentiellement à des transports de coke et de minerai. Situation du parc au 30/6/72 : 395 wagons.
- Crédit-bail de matériels d'équipement, de manutention et de transport, plus particulièrement avec les sociétés sidérurgiques, les mines et carrières, et l'industrie lourde en général.

sideco

Société Sidérurgique de Participations pour le Développement Economique

Création
Société anonyme constituée le 28 mars 1967.

Capital
15 000 000 F, réparti en 150 000 actions de 100 F non cotées.

Actionnaires
Le G.I.S. (98,66 %) et les principales sociétés exploitantes représentant les diverses régions sidérurgiques.

Conseil d'Administration
René CHÂTEL — Président-Directeur général
G.I.S. — représenté par Jacques FERRY
CREUSOT-LOIRE — représentée par Hubert RICHARD
WENDEL-SIDELOR — représentée par Jean DEHESDIN
USINOR — représentée par Henri DELPLANQUE
De WENDEL & Cie S.A. — représentée par Pierre BRICHANT

Direction
Raymond BAS — Directeur général

Activité
SIDECO a pour objet de concourir à la création d'activités nouvelles et au développement d'entreprises dans les bassins sidérurgiques et de mines de fer pour maintenir un haut niveau d'emploi.

La société est intervenue en faveur de 14 entreprises exerçant leur activité dans les domaines les plus divers :

- constructions mécaniques et hydrauliques,
- forge et estampage,
- appareillages électroniques et rénovation de moteurs électriques,
- textile,
- éléments préfabriqués pour le bâtiment et constructions métalliques.

Par ces opérations, la société a contribué à créer environ 1 400 emplois nouveaux, essentiellement dans les régions suivantes : Ardennes, bassins de Longwy et de Briey, région de Thionville.

Les concours financiers apportés par SIDECO depuis sa création ont repré-

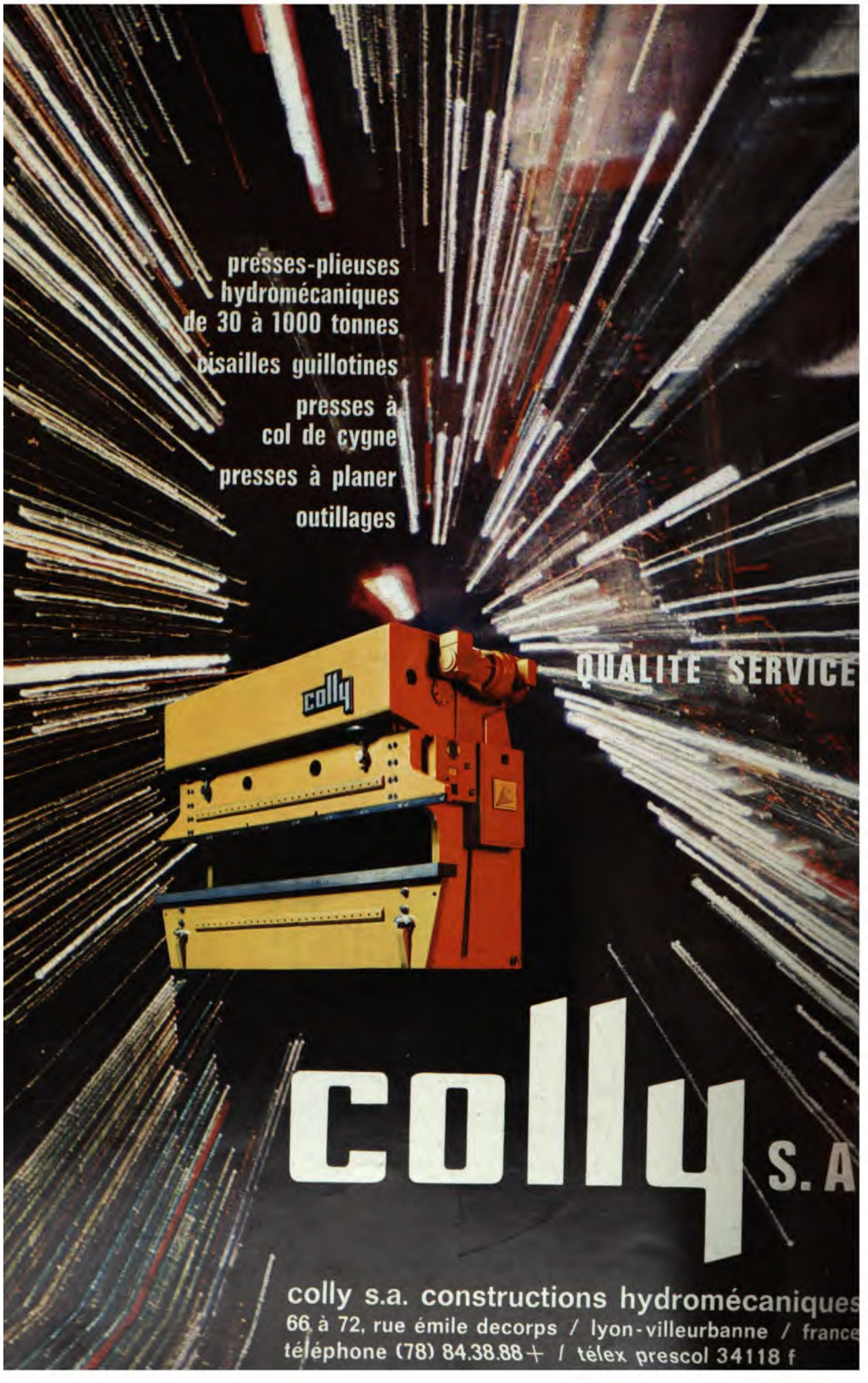
TABLE DES ANNONCEURS

	Dans ce N° : Pages
A	
AGA	
A.E.G. TELEFUNKEN	
ALCOA	V
ALFA LAVAL	
AMSLER	
A.N.F.	
AUBERT & DUVAL	VIII
AUTOMATION INTERNATIONAL	
B	
BABCOCK ATLANTIQUE	
BALZERS	
BERLIET	XVI
BERTHOLD	
BROCHOT	
C	
CARL ZEISS	
CEC	XX
C E M	
CHATILLON COMMENTRY BIACHE	
CHAUVIN ARNOUX	
CHIERS (Hauts Fourneaux de la)	
COLLY	4e couv.
COMPAGNIE EUROPEENNE DE TRAITEMENT DES EAUX	XIX
COMPAGNIE FRANÇAISE DES CONVOYEURS	
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE	
COMPAGNIE TECHNIQUE DES PETROLES	VIII
COMPTOIR DES PRODUITS MAGNESIENS	
CONILLEAU (MANUCAC)	
CREUSOT-LOIRE METALLURGIE	XXIII
D	
DANGO et DIEMENTHAL	XXV
DAVY ASHMORE	
DELATTRE LEVIVIER	
DEMAG	
E	
ELECTRO NITE	XXVI
ELECTRO REFRACTAIRE	
ELIOTT AUTOMATION	
ENDRESS + HAUSER	
ESCOFFIER	
F	
F.I.C.A.	
FONDERIES DE NOGENT	XXIV
FOURNIER MOUILLON	
FOURS AUBE	
FOURS ROUSSEAU	
FOXBORO	
G	
GAZ DE FRANCE	
G.H.H. STERKRADE	
GLAENZER SPICER	
H	
HARTMANN & BRAUN	
HOESTEMBERGHE & KLUTSCH	
I	
INDUSTRIALEXPORT	
INTERLABE	XX
INTERMED	X
INTERNATIONAL NICKEL	
INSTRON	XV
J	
JEOLCO	
JEUMONT SCHNEIDER	
JOHNS MANVILLE	XXVIII
K	
KODAK	
KONGSBERG FRANCE	XII
L	
LABORATOIRE DE CONTROLE METALLURGIQUE	
LA DOLOMIE FRANÇAISE	
LEGENISEL & BLANCHARD	
LEITZ FRANCE	
LES ENFANTS DE MERCIER	XXIV
LUMMUS	X

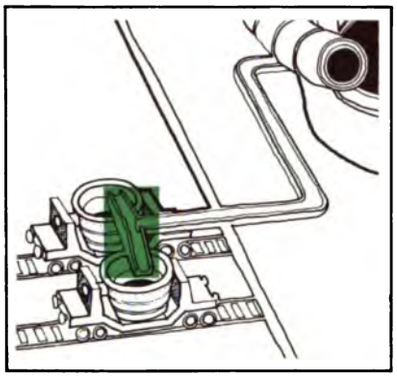
	Dans ce N° : Pages
M	
MACHINOEXPORT	XIV
MACHINOEXPORT	XXII
M.A.I.R.	
MAN GHH FRANCE	
MARREL FRERES	XIII
M.E.T.	
MINEMET	
MINERALIMPEX	
MINGORI	
MORGANITE CERAMIC FIBRE	
MORGAN THERMIC	XIV
N	
NEUVES MAISONS CHATILLON (ACIERIES)	
NEWALLS INSULATION	
NEYRPIC	
NOBEL HOESCHT	XVIII
O	
OMNIUM D'ASSAINISSEMENT	VI
ONIA GEGI	
OSI	
OZONAIR	
P	
PECHINEY-UGINE-KUHLMANN	2e couv.
PENARROYA	
PHILIPS	
POLYSIUS	XXVII
PRAT DANIEL POELMAN	
PROST	3e couv.
R	
RADEX	
ROYALE ASTURIENNE	
S	
S.A.F.T.P.	XXIX
SAINT-GOBAIN ELECTRO-REFRACTAIRE	
SAMM	
SAULNES & UCKANGE	
SCHENCK	XXI
SCOM	VII
SECOSAR	
SEFRAM	
SETREM	
SIEMENS	
SMAP	
SOCIETE FRANÇAISE DE MINERAIS ET METAUX	
SOCIETE GENERALE DES PRODUITS REFRACTAIRES	
SOCIETE METALLURGIQUE DE NORMANDIE	
SOCIETE NOUVELLE DES ACIERIES DE POMPEY	
SOFRANCE	
SOLLAC	
SPRUNCK	
STANDARD MESSO	
T	
TECHNOM	
TECHSNABEXPORT	
TESTWELL	IX
TRAYVOU	
TRINDEL	XX
TUBES DE CHEVILLON	
TUBES DE NORMANDIE	
TUBES DE LA PROVIDENCE	
U	
UGINE GUEUGNON	
UGINE INFRA	
UGINOX	
UGIVIS	
USINOR	
V	
VALLOUREC	
VEITSCHER MAGNESIT	
VON ROLL	
W	
WENDEL SIDELOR	
WERNER PFLEIDERER	

S.I.L., 48, rue de Lancry, Paris (10e) Dépôt légal 3e trimestre n° 518 Le Directeur de la Publication

Pour hautes températures et isolations poussées PANNEAUX TK. FORM
REFRACTAIRES MOULABLES PHLOX Porosité < à celle des Briques Résistance aux laitiers et aux chocs thermiques Haute réfractarité
BETONS PROJETABLES Rebond < à 15 % Haute résistance thermique
TRITON-KAOWOOL la plus longue fibre céramique inertie aux chocs thermiques permet l'isolation contrôlée des enceintes thermiques
Agrégats et Bétons Réfractaires Isolants CLAYLITE
Panneaux isolants DIATISOL DIATIROCK
Briques diatomites calibrées
PROST
PRODUITS ISOLANTS ET REFRACTAIRES
Bureau d'études des qualités et des formes. Assistance pour la mise en œuvre.
Bétons traditionnels REFRABLOC
BRIQUES REFRACTAIRES ISOLANTES PYRO-ISOL La meilleure résistance à la compression - un ∆ contrôlé - une régularité dimensionnelle assurant une étanchéité aux gaz
Panneaux isolants sans amiante DIATIWOOL
Une Equipe Technico-Commerciale pour l'étude de vos demandes de prix
Toutes Briques et Pièces de Forme ARGILEUX SILICO-ARGILEUX CORINDON SILLIMANITE GIBBSITE
Laboratoire de Recherches et de Contrôle de la production
119, rue du Président-Wilson - 92-LEVALLOIS - TEL. : 270-13-13 - 270-13-55 - 270-15-27 - TELEX 61743 LVALL
Bientôt 12 lignes téléphoniques à votre service : 739.32.50 + Mise en service prévue Septembre 72.


presses-plieuses
hydromécaniques
de 30 à 1000 tonnes
cisailles guillotines
presses à
col de cygne
presses à planer
outillages
QUALITE SERVICE
colly
colly S.A
colly s.a. constructions hydromécaniques
66 à 72, rue émile decorps / lyon-villeurbanne / france
téléphone (78) 84.38.88 + / télex prescol 34118 f

Nous nous sommes trompés... Nous avions prévu chez Usinor Dunkerque une durée de service de 90.000 tonnes pour les goulottes basculantes en alumine tabulaire... Le chiffre réel est: 140.000 tonnes.



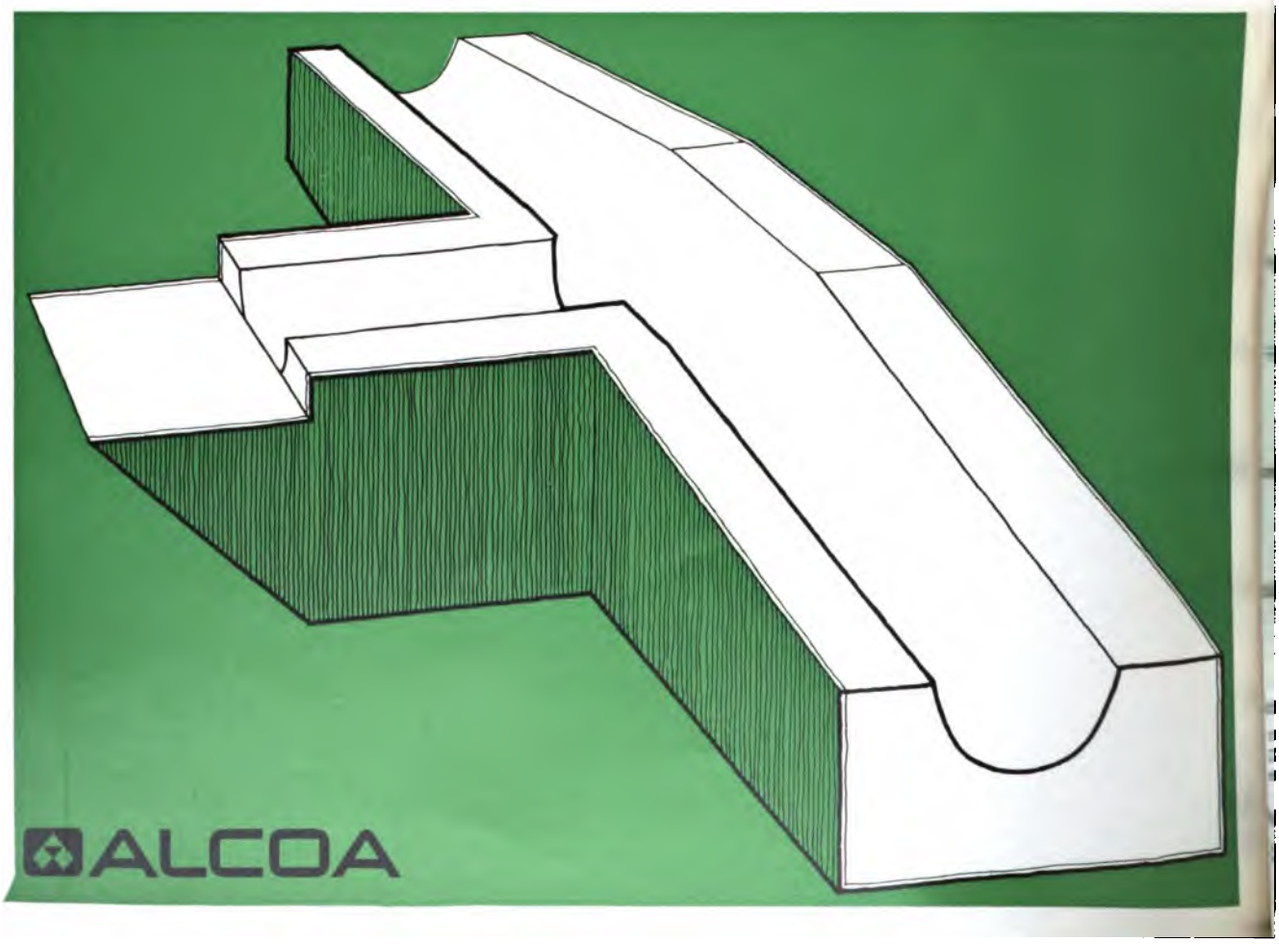
A Dunkerque, les hauts-fournistes d'Usinor utilisent des goulottes métalliques en forme de T, qui basculent pour alimenter deux poches à fonte. Le revêtement réfractaire de ces goulottes a été la cause de leur changement fréquent en raison de la brièveté imprévisible de leur durée.

La fonte est coulée à une température très élevée allant jusqu'à 1540° C. Le laitier, très agressif à cette température et le métal en fusion, attaquent alors les points d'érosion critiques tels que le point de chute de la fonte et son point d'impact sur la jonction en T. Avec un béton en ciment CA-25 et Alumine Tabulaire d'Alcoa, la durée de service a été plus que doublée par rapport aux autres matériaux super-réfractaires.

A la suite du succès de cette application, l'emploi du béton à base de CA-25 et de Tabulaire a maintenant été étendu au système de rigoles de coulée. Autre avantage: Aujourd'hui, des cycles plus courts de coulée et une production accrue laissent moins de temps pour l'entretien et les réfections. Avec des bétons extra-denses en CA-25 et en Alumine Tabulaire d'Alcoa, il y a moins d'infiltration de laitier ou de fonte, ce qui facilite le décrassage avant les réparations intermédiaires. Le béton réfractaire pour cette application a été fourni par la maison Kaiser Refractories Europe S.A.

Alumine Tabulaire Alcoa —
Le matériau réfractaire de longue durée et à performances supérieures.

Pour tout renseignement écrivez aux adresses suivantes.
Distributeur en France:
Comptoir des Minéraux
et des Matières Premières
45, rue de Leningrad, Paris 8e.
Alcoa Eurocentre
Alcoa International Inc.
61, avenue d'Ouchy
1000 Lausanne 6, Suisse



revue de métallurgie

Fondée en 1904 par Henry Le Chatelier

Présidents honoraires : Eugène Dupuy, Georges Delbart

Président-Directeur Général : René Castro

REDACTION ET ADMINISTRATION : 47, rue Boissière, Paris-16e - Tél. : 553-81-30

Régisseur de la Publicité : REGIE PUBLICITE INDUSTRIELLE

36, rue du Fer-à-Moulin, Paris-5e — Téléphone 707-53-39

ANNÉE OCTOBRE 1972 N° 10

formations économiques

Fos vers un nouveau plan de financement pour assurer le développement rapide de l'usine construite par Solmer .. 217 - E

Les investissements de la sidérurgie belge .. 226 - E

Le rôle de la British Steel Corporation (International) Ltd .. 228 - E

La société autrichienne Alpine Montan en 1971 .. 230 - E

Part de la British Independent Steel Producers Association dans la sidérurgie britannique .. 232 - E

La production latino-américaine de fer-blanc en 1971 .. 233 - E

Les projets de développement de la sidérurgie indienne .. 234 - E

ude économique

Signora : **Mesure économétrique de la portée moyenne des stocks de produits sidérurgiques chez les négociants et les utilisateurs** .. 629

émoires consacrés aux équipements récents des usines sidérurgiques françaises

Viano : **Les installations d'agglomération de l'usine de Rombas (SACILOR). La chaine n° 2 de 400 m²** .. 635

Description détaillée des installations : broyage, homogénéisation des minerais et du combustible, reprise au parc des fines 0/10 ; agglomération Smidth, agglomération sur grille (2 chaines) ; préparation et allumage des mélanges ; refroidisseurs. Installations complémentaires. Points qui pourraient être modifiés.

Catella : **L'aciérie électrique d'Isbergues** .. 651

Description, implantation générale et caractéristiques de l'aciérie, qui comporte deux fours électriques de 80 t élaborant des aciers inoxydables et des aciers spéciaux ; parcs à ferrailles et à ferro-alliages, fours, captage et dépoussiérage des fumées, décrassage, dégazage, coulée en poches et en lingotières, coulée continue. Traitement des informations.

Lambert, J.L. Gatelais, J. Basilis : **Nouvelles techniques en matière de coulée continue aux aciéries de Decazeville** .. 663

Description des techniques originales mises en œuvre à Decazeville pour l'agglomération des minerais avec refroidissement sur grille, l'élaboration en creuset LD de 15 t, le maintien, le réchauffage, la désoxydation et la mise à nuance de l'acier au four à induction à canal sous vide et la coulée continue centrifuge à une ligne.

Warzée, G. de Rousiers : **Modernisation du train continu de 720 de l'usine de Réhon** .. 679

Etapes de la modernisation de l'ancien train de 720 et description du train modernisé : trains dégrossisseur, intermédiaire, finisseur, bobineuses. Programme de laminage ; capacité de production. Parachèvement des feuillards.

Populus : **Le tandem à 4 cages et la ligne de décapage continu de l'usine de Biache St Vaast de la Compagnie des Forges de Chatillon-Commentry-Biache** .. 687

Description et caractéristiques du train tandem à 4 cages du type Mesta. Alimentation électrique ; changement des cylindres ; arrosage des cylindres. Régulation de la traction et de l'épaisseur. Commande du tandem. Ligne de décapage continu à l'acide chlorhydrique.

tomatisation du quarto du Creusot (Creusot-Loire). Conduite en guide opérateur d'un laminoir quarto à tôles fortes au moyen d'un calculateur .. 693

Mise au point d'un modèle mathématique indiquant avec précision l'effort et le couple de laminage de chaque passe. Caractéristiques des équipements : calculateur numérique, pupitre d'affichage, codeur numérique de positionnement des vis et dispositif de mesure de l'effort de laminage.

tôlerie inoxydable du Creusot .. 701

Description de cet atelier, conçu pour produire des tôles d'acier inoxydable de 3 à 4,76 mm d'épaisseur et de 2 200 à 2 300 mm de largeur, avec des tolérances serrées et un bon état de surface. Fours d'hypertrempe, planeuse à rouleaux, banc de traction, cisailles, décalaminage, décapage, laminoir Sendzimir réversible à 6 cylindres.

Coindet, J.J. de Cadenet, A. Gueussier : **Parachèvement, conditionnement et stockage du fil machine inoxydable à l'usine d'Ugine de la Société Ugine Aciers** .. 707

Organisation générale et implantation de l'atelier : traitement thermique, ligne de décapage, traitement des effluents, contrôle des produits, conditionnement et magasinage. Capacité et performances.

nmaire des Mémoires Scientifiques .. 635

ongrès, Manifestations, Bibliographie .. 713

M. Viano : **Las instalaciones de aglomeración en la fabrica de Rombas (SACILOR). La cadena n° 2 de 400 m²** . . . . . .

Descripción detallada de las instalaciones : trituración, homogenización de los minerales y del combustible, reposición al parque de finos 0/10 ; aglomeración Smidth, aglomeración sobre parrilla (2 cadenas) ; preparación y encendido de las mezclas ; enfriadores. Instalaciones complementarias. Puntos que podrian ser modificados.

R. Catella : **La aceria electrica de Isbergues** . . . . . .

Descripción, implantación general y caracteristicas de la aceria, que contiene dos hornos electricos de 80 t elaborando aceros inoxidables y aceros especiales ; parques de chatarra y de ferro-aleaciones, hornos, captación y desempolvado de los humos, desengrasado, desgasificado, colada en cuchara y en lingotera, colada continua. Tratamiento de las informaciones.

L. Lambert, J.L. Gatelais, J. Basilis : **Nuevas tecnicas en materia de colada continua en las acerias de Decazeville** . . . . . .

Descripción de las tecnicas originales puestas en marcha en Decazeville por la aglomeración de los minerales con enfriamiento sobre parrilla, elaboración en crisol LD de 15 t, conservación, calentamiento, la desoxidación y control del acero en el horno de inducción en canal bajo vacio y la colada continua centrifuga en una linea.

L. Warzée, G. de Rousiers : **Modernización del tren continuo de 720 en la fabricade Réhon** . . . . . .

Etapas para la modernización del tren antiguo de 720 y descripción del tren modernizado : trenes de desbastado, intermediario, acabado, devanado. Programa de laminado : capacidad de producción.

M. Populus : **El tandem de 4 cajas y la linea de decapado continuo en la fabrica de Biache St Vaast de la Compañia de Forjas de Chatillon-Commentry-Biache** . . . . . .

Descripción y caracteristicas del tren tandem de 4 cajas del tipo Mesta. Alimentación electrica ; cambio de cilindros ; riego de los cilindros. Regulación de la tracción y del espesor. Control del tandem. Linea de decapado continuo en el ácido clorhidrico.

Automatización del cuarto de Creusot (Creusot-Loire). Conducto de guia operadora de un laminador de chapas gruesas por medio de un calculador . . . . . .

Puesta en marcha de un modelo matemático que indica con precisión el esfuerzo y el par de laminado de cada pase. Caracteristicas de los equipos : calculador numérico, pupitre de fijación, codigo numérico de posición de los tornillos y dispositivo de medida del esfuerzo de laminado.

La chaspiteria de acero inoxidable de Creusot . . . . . .

Descripción de este taller, concebido para producir chapas de acero inoxidable de 3 a 4,76 mm de espesor y de 2.200 a 2.300 mm de anchura, con tolerancias estrechas y un buen estado de superficie. Hornos de hipertemplado, aplanado con rodillos, banco de tracción, cizallas, decalaminado, decapado, laminadora Sendzimir reversible de 6 cilindros.

D. Coindet, J.J. de Cadenet, A. Gueussier : **Acabado, acondicionado y almacenado del cable de acero inoxidable en la fabrica de Ugine de la Société Ugine Aciers** . . . . . .

Organización general e implantación del taller : tratamiento térmico, linea de decapado, tratamiento de los efluentes, control de los productos, condicionamiento y almacenaje. Capacidad y comportamiento.

Tarif des abonnements 1972

Abonnement à la « Revue de Métallurgie » :	France, Union Française	195 F	Etrang
	le numéro	19 F	le nu
Abonnement aux « Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie » :	France, Union Française	195 F	Etrang
	le numéro	19 F	le nu
Tarif couplé pour l'abonnement aux deux publications	France, Union Française	365 F	Etrang

VES - CAIL

équipe

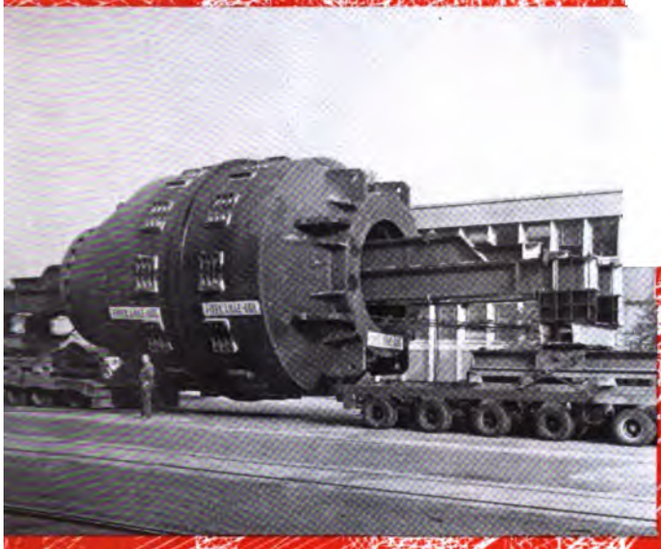
erurgie

paration des minerais
oyage, homogénéisation, agglomératio

hauts fourneaux

Aciéries (O.L.P., L.D., Kaldo, etc.)

- Installations de coulée continue
- Laminoirs Sendzimir - Equipeme pour laminage et parachèvement
- Levage et manutention
- Compresseurs



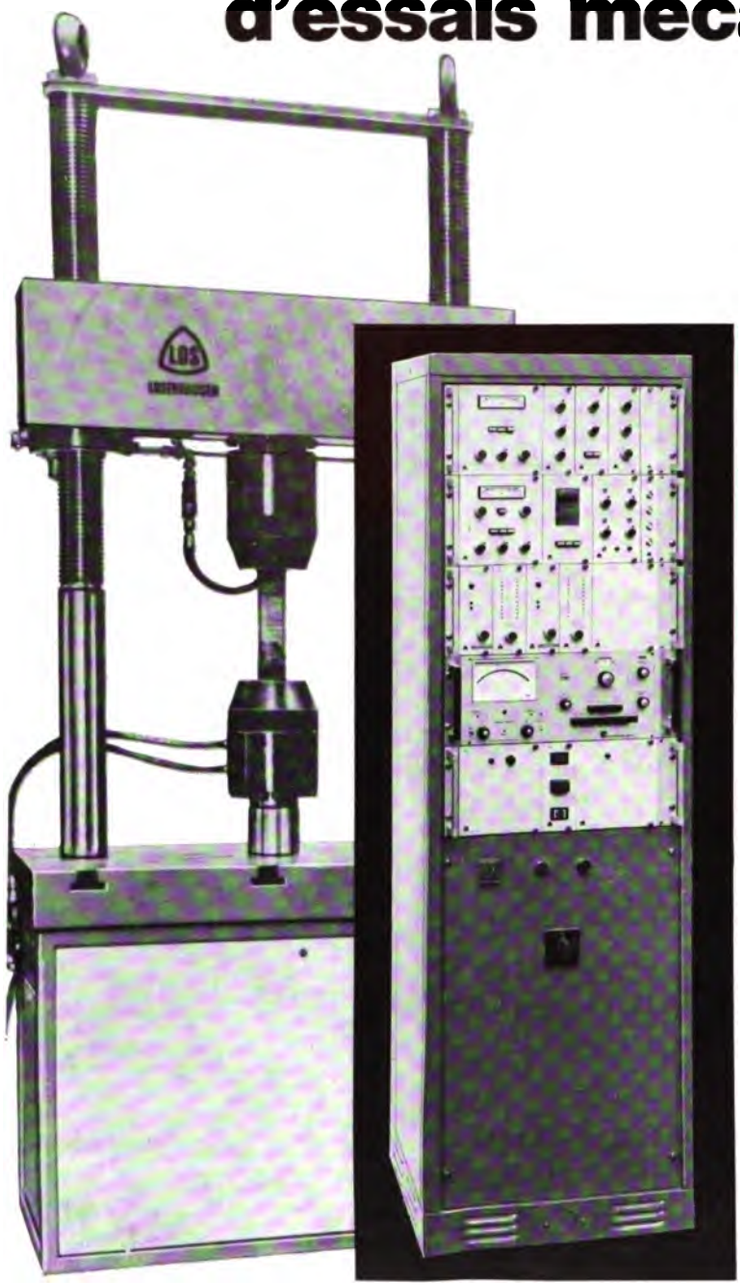
do de 160 t (record du monde) destiné à l'aciérie R de Gandrange.

FIVES LILLE - CAIL offre aux sidérurgis dans tous ces domaines, aussi bien des ins lations complètes que des équipements sépa

ion de coulée continue de brames (USINOR, à ue).

7, RUE MONTALIVET, PARIS 8e - TÉL. : 742.2

régulateur électronic
pour machines hyc
d'essais mécar



Per
de
péri
d'ur
en

Ap

Soll
Ess
Ess
Soll
Pro
déf
Vite
régl
Tem
de
Soll
Cyc
sinu
cré
entr
Pos
ou

Les installations déjà existantes peuvent recevoir cet équipement complém
la machine en votre possession.
Consultez-nous, nos ingénieurs se tiennent à votre disposition pour étudier

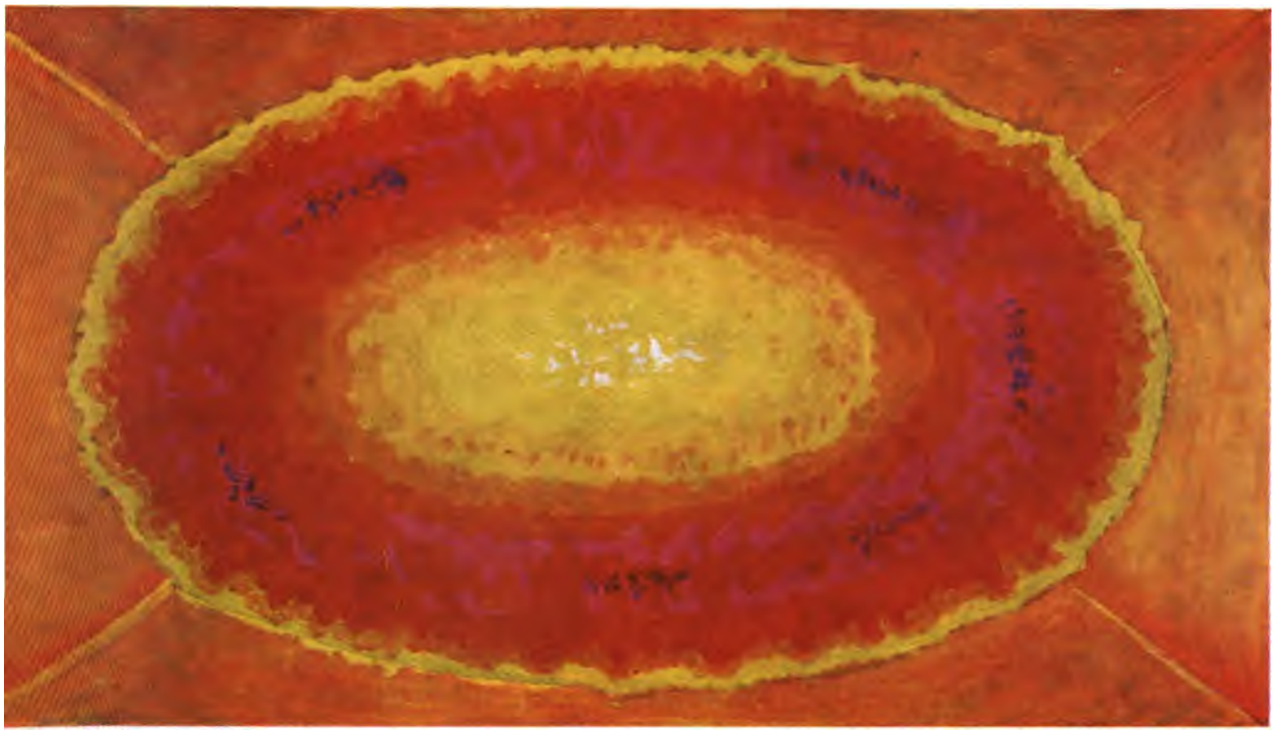
MOHR+FEDERHAFF+LOSENHAUSEN

SCOM

Soc
14
92
Té

bétons réfractaires

un nouveau pas est franchi...



Pendant longtemps les bétons réfractaires ont eu à supporter un handicap important. Aux tempéra- ; intermédiaires de 500 à 800° C, une importante chute de résistance mécanique était classique pour ce de matériau réfractaire qui présente, par ailleurs, tellement d'avantages.

Grâce à notre gamme de BÉTONS T, fruit de longues recherches et d'une expérimentation indus- e extrêmement séduisante, nous éliminons ce défaut traditionnel. En outre, l'expérience nous confirme :

- A MANIABILITÉ ÉGALE 5 A 35 % D'EAU EN MOINS
- POROSITE RÉDUITE DE 2 A 10 %
- PERMÉABILITÉ PRATIQUEMENT NULLE JUSQU'A 1000/1200° C
- RÉSISTANCE MÉCANIQUE SUPÉRIEURE DE 5 A 20 %
- RÉSISTANCE AUX CHOCS THERMIQUES SANS CHANGEMENT NOTABLE
- PAS D'EFFLORESCENCE
- RÉDUCTION DU REBOND DE 5 A 15 % POUR LES BÉTONS PROJETÉS

L'emploi de nos BÉTONS T permet de voir sous un jour nouveau les conceptions et réalisations de fumisteries.

DEMANDEZ NOTRE CATALOGUE SPÉCIAL "BÉTONS T"

Autres produits non façonnés : Pisés de réparation à chaud THERMOJET E - M ou S ▪ Masses réfractaires plastiques ▪ Pisés secs ou humides ▪ Bétons isolants ▪ Ciments ▪

OCIÉTÉ GÉNÉRALE DES PRODUITS RÉFRACTAIRES

, rue Saint-Lazare - 75 PARIS (9ème) SGPR Tél. PARIS 744.87.19 Télex 65.679

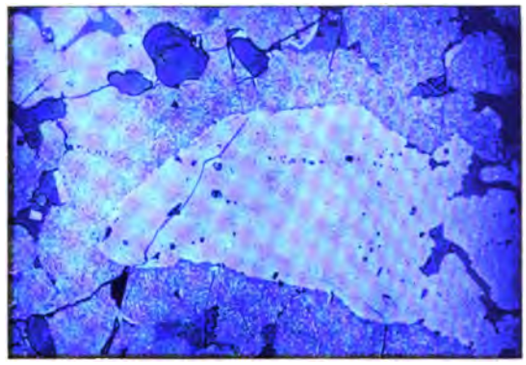
nces à LILLE - LYON - MARSEILLE - METZ - NANTES - PARIS - TOULOUSE - BRUXELLES - DUSSELDORF - LAUSANNE - MADRID - MILAN

RADEX

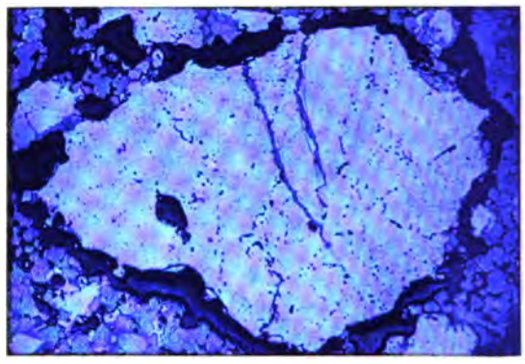
CM

SIMULTAN

		RADEX	
		CM	SK-CMI
Mg O		59	62
$Cr_2 O_3$		24	25
Densité apparente, g/ cm³		3,05-3,15	3,15-3,25
Porosité apparente, %		16	14
Résistance à l'écrasement à froid, kg/cm²		600	750
Résistance à l'affaissement sous charge	ta	1 650°C	1 700°C
	tb	1 700°C	1 700°C
Résistance aux chocs thermiques		excellente	excellente



Structure à liaison directe



Structure standard

brique de chrome-magnésie cuite pour voûtes autoportantes ou suspendues, piedroits, murs arrières, culasses etc... pour fours particulièrement poussés.

LIAISON DIRECTE ENTRE CHROMITE ET MAGNÉSI

RADEX INTERNATIONAL, 8 rue La Boétie, Paris.

Equipem
él
pour la m

ENGINEERING

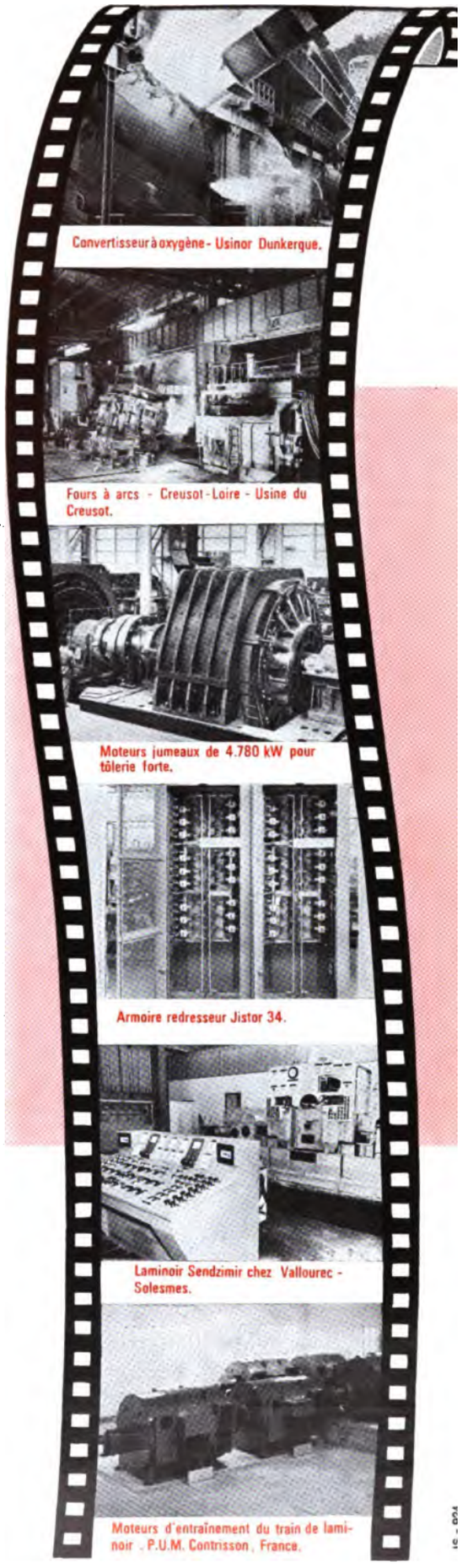
- Analyses de processus industriels. Recherches d'optimisation
- Architecture électrique des équipements
- Etudes des schémas électriques de puissance et de contrôle
- Définition précise de toutes les fonctions électriques commandant le processus métallurgique
- Etude en simulation des asservissements
- Analyse et programmation des automatismes de process
- Etablissement des cahiers des charges, consultations des fournisseurs
- Etudes d'installation et d'exécution
- Contrôle et réception des matériels et sous-ensembles
- Montage et mise en service, assistance technique.

MATÉRIELS

- Toutes grosses machines tournantes à courant continu et alternatif
- Machines petites et moyennes à courant continu, spécialement conçues pour les services durs
- Moteurs spéciaux à courant alternatif pour les services intensifs d'auxiliaires de métallurgie
- Pompes et groupes électropompes
- Redresseurs de puissance à thyristors, diodes au silicium
- Tous transformateurs de puissance, de distribution, de redresseurs, réactances, etc...
- Appareillage courant continu "métallurgie"
- Calculateurs de processus
- Electronique industrielle : régulateurs, périphériques, appareillage logique statique
- Tableaux, ensembles d'automatisation, pupitres de commande, synoptiques
- Matériels de pesage et dosage
- Câbles électriques.

JEUMONT-SCHNEIDER étudie, fabrique, installe et assure la mise en service des équipements conçus avec l'appui technique de WESTINGHOUSE.

Double garantie = Double sécurité !

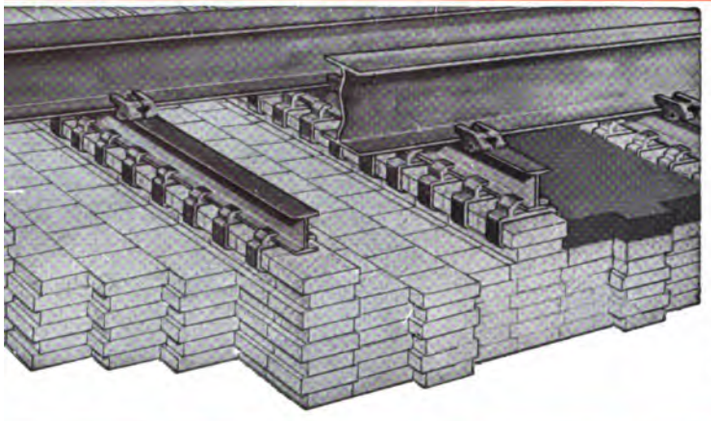


'OUS FOURS INDUSTRIELS
'ES PERFORMANCES

en voûtes suspendues
DETRICK
(BREVETÉ S.G.D.G.)

ernier progrès : la "voûte MS"
supports multiples

ÉSULTAT DE NOTRE EXPÉRIENCE •••



avec la voûte
à suspension
réfractaire
"DETRED"

dont 15000 m²
sont en service en :
FRANCE - BELGIQUE
ITALIE - ESPAGNE

Documentation sur demande

CTP

COMPAGNIE TECHNIQUE DES PETROLES
LICENCIÉ EXCLUSIF
1, RUE JULES-LEFEBVRE PARIS 9e 874-49-95

AUBERT ET DUVAL

41, RUE DE VILLIERS - NEUILLY-SUR-SEINE
TÉLÉPHONE : 624 88-30 - R. C. SEINE 56 B 1399
ADR. TÉL. : FALATAS-PARIS - TELEX 62.072

ACIÉRIE DES ANCIZES
(PUY-DE-DOME)

ACIERS SPÉCIAUX

Ponts retourneurs de brames

ıalité et le prix avantageux de l'acier sont avant onction de son processus de production et de la ıalisation de ce dernier.
ıonts retourneurs permettent de retourner ement et sûrement des brames d'acier l'éliminer tous défauts superficiels, en améliorant la qualité comme cela est requis pour la formation ultérieure. Ils assurent le déroulement ıu des opérations dans l'atelier de décriquage. qualité revêt une importance primordiale.

La construction d'engins de levage et ponts roulants destinés à la métallurgie, tout comme celle d'usines sidérurgiques, fait partie depuis toujours du programme classique Demag. Le savoir des ingénieurs d'étude Demag est donc basé sur une longue et riche expérience, ainsi que sur des connaissances et principes les plus modernes acquis tant sur le plan études que dans les domaines des applications pratiques.
Nos clients le savent et nos commandes le prouvent.

DEMAG

Lauchhammer-Division Ponts roulants d'aciéries

epr.: DEMAG Equipements Sidérurgiques S.A.R.L. · 27, Rue de Marignan, F 75 Paris 8e · Tél. 3597524

étude fabrication entreprise

USINOR DUNKERQUE : SALLE DE CONTROLE DU HAUT FOURNEAU III

travaux industriels pour l'électricité

TRINDEL

INSTRUMENTATION
Instrumentation pneumatique et électrique
Traitement des informations par calculateur
Préréglage. Mise en service. Maintenance.

ÉQUIPEMENTS
Centrale thermique
Postes de Transformation électrique
Équipement électrique des unités et des off-sites
Postes de chargement
Chargement wagons-citernes - camions citernes

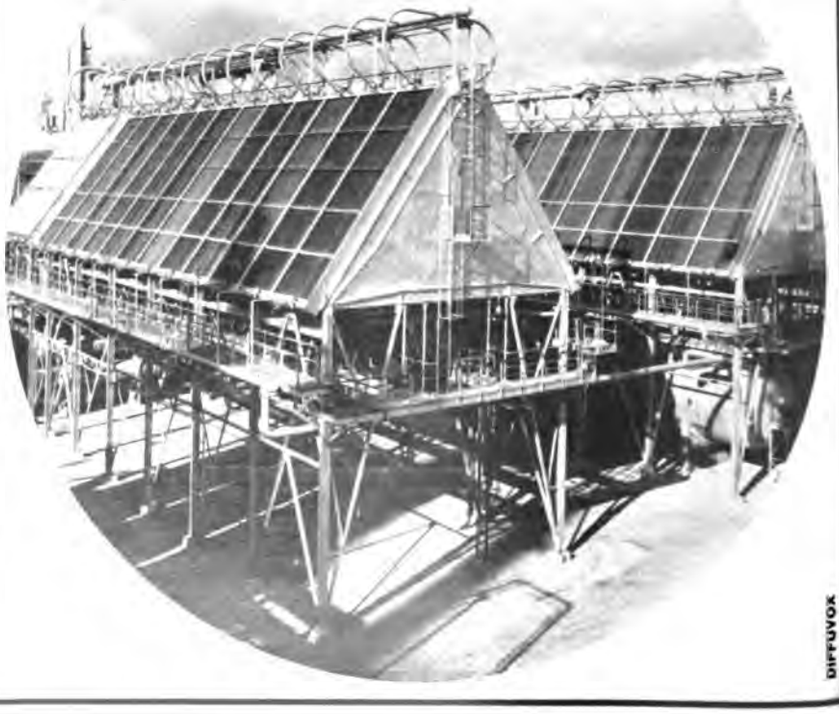
FABRICATIONS
Salles de contrôle
Tableaux et pupitres
Armoires d'automatismes

TRINDEL INFORMATIQUE
Software - Hardware

44, RUE DE LISBONNE, PARIS VIIIe - TÉL. 522.19.09

EDITION PUBLICITE E.L.

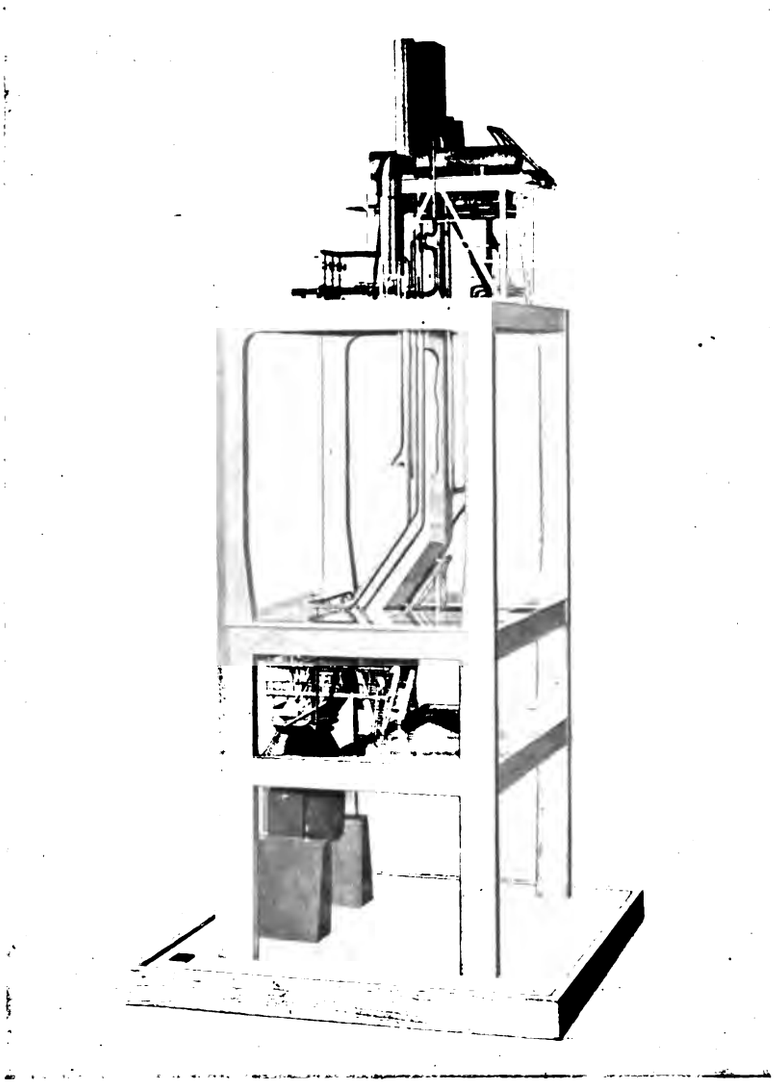
UNE INSTALLATION COMPLETE D'AEROCONDENSATION DE VAPEUR CALCULEE, CONSTRUITE ET MONTEE PAR G.T.T. LUMMUS AVEC SES AUXILIAIRES ET SA REGULATION.



LUMMUS

GROUPE DE TRANSFERT THERMIQUE LUMMUS
Tour Aurore - 92 - COURBEVOIE
Tél. : 788.33.81 - Télex : TECHLUM 61.675 F

DIFFUVOX



Babcock-Atlantique au Chili :

A Huachipato, au Chili, la Compañia de Acero del Pacifico (Engineering Sofresid) a entrepris la construction d'une aciérie à l'oxygène qui comprend deux convertisseurs LD de 110 t.

Un troisième convertisseur est prévu dans une phase ultérieure.

L'installation de captation des fumées comprenant des cheminées sous pression à vapeur perdue a été confiée à Babcock-Atlantique.

Deux particularités caractérisent l'installation : l'adoption de hottes mobiles pour l'accès aux convertisseurs et la construction en tubes ronds membranés permettant de supprimer le casing.

Les cheminées tubulaires fixes fonctionnent en circulation naturelle, alors que la circulation dans les hottes mobiles est assistée par des pompes. Commun à la cheminée et à la hotte, le réservoir assure la séparation eau-vapeur. La vapeur produite est ensuite mise à l'air libre par l'intermédiaire d'un silencieux.

Les risques de séismes ont nécessité une étude très poussée des matériels. C'est ainsi, notamment, que le chariot support de la hotte mobile est un véritable pont roulant capable de résister à des efforts sismiques importants.

De plus, chaque unité comporte un appareil permettant l'inspection et l'entretien de la cheminée.

Babcock-Atlantique a conçu et réalisé l'installation complète de refroidissement. Celle-ci présente les principales caractéristiques suivantes :

- timbre : 26 bar
- pression de fonctionnement : 23 bar
- vaporisation unitaire en pointe : 143 t/h.

La sidérurgie progresse
BABCOCK-ATLANTIQUE
est présente.

Babcock-Atlantique étudie et construit des installations complètes pour la captation, le refroidissement et le dépoussiérage des gaz de convertisseurs soufflés à l'oxygène.

Les cheminées de captation, en tubes carrés jointifs ou en tubes membranés, constituent l'élément principal des différents systèmes de refroidissement proposés par Babcock-Atlantique :

- refroidissement par circulation d'eau, avec ou sans pression
- refroidissement par vaporisation, avec ou sans récupération d'énergie.

Outre l'équipement de la SMN Mondeville, qui constitue une première dans la sidérurgie française, Babcock-Atlantique compte parmi ses réalisations les plus récentes, des installations pour SOFRESID : SNS - El Hadjar, CAP-Chili et avec FLC : COSIPA-Brésil.

BABCOCK-ATLANTIQUE

Groupe BABCOCK FIVES

48, rue La Boétie, 75 - PARIS 8e

Tél. 256.68.00 Télex 29.027

PECHINEY-UGINE-KUHLMANN

ÉTUDES ET CONSTRUCTION D'USINES

Traitement de minerais d'uranium
Produits uranifères

PROCÉDÉS

Traitement des produits uranifères :
Minerais, Fluorures, Oxydes, etc.
Procédés spéciaux physiques et chimiques
Retraitement des combustibles nucléaires
Traitement des effluents et décontamination

RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Etudes et participation aux constructions

APPAREILS DE MESURE ET DE LABORATOIRE

Instrumentation diverse pour emplois nucléaires
Fours de traitement thermique

MATÉRIAUX ET PRODUITS POUR L'INDUSTRIE NUCLÉAIRE

• Métaux non ferreux et alliages :
Zirconium et alliages pour emplois nucléaires
hafnium, niobium, vanadium, aluminium, titane
magnésium, sodium nucléaire.

• Aciers et alliages ferreux :
Aciers inoxydables et réfractaires
Aciers résistant mécaniquement à chaud
Aciers à spécifications nucléaires particulières.

• Produits à technique spéciale de mise en forme
Profils et tubes filés
Métaux frittés compacts ou poreux
Aimants permanents.

• Produits chimiques et divers
Fluor et produits fluorés minéraux et organiques
Graphite nucléaire.

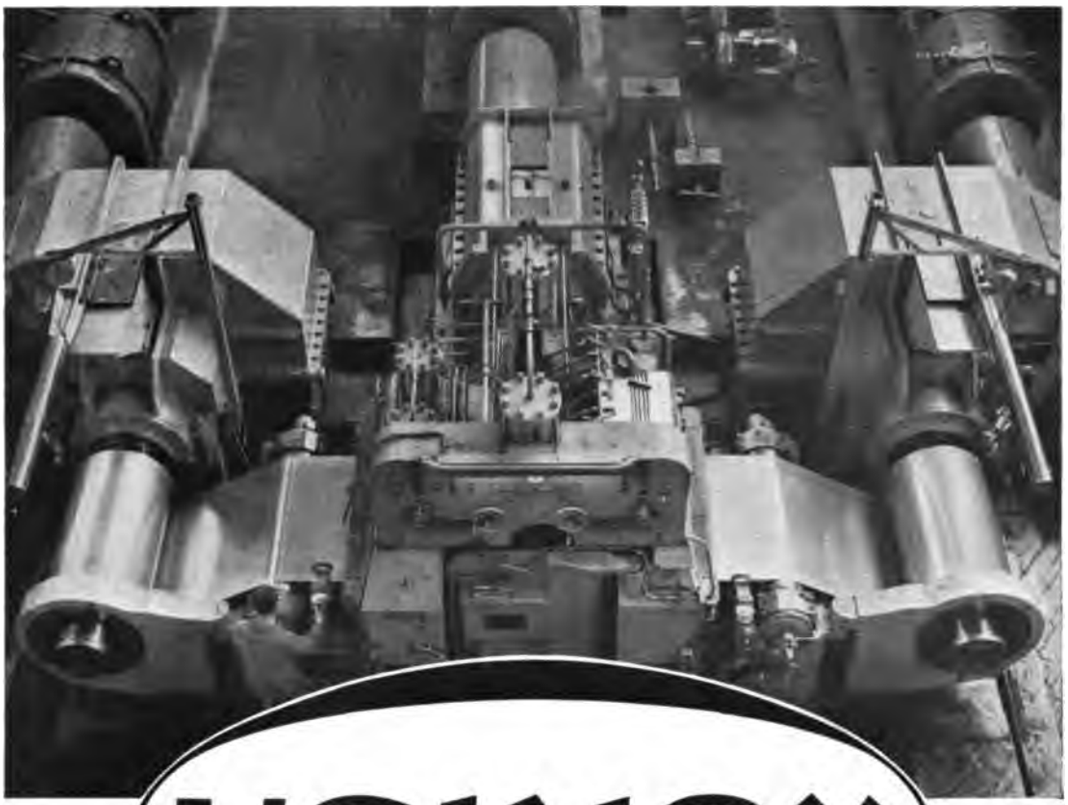
• Composés uranifères
Concentrés
Produits de pureté nucléaire
Oxydes et sels d'uranium
Isotopes du bore.

SIEGE SOCIAL :

10, rue du Général-Foy - Paris 8e
Tél. : 292-31-00

Division des recherches et développements nucléaires

192, Grande-rue, 92 - Sèvres
Tél. : 626-14-00



R. CHORAND • paul gabor • photo Mazo

Document Forges de Gueugnon

UGINOX

LA
PLUS FORTE
PRODUCTION EUROPÉENNE
D'ACIER INOXYDABLE

✳

30 ANS
D'EXPÉRIENCE

✳

UGINE-GUEUGNON 16, RUE D'ARTOIS - PARIS 8e

Pupitre principal d'un laminoir Sendzimir réversible commandé par un calculateur. Ce laminoir est installé aux Usines Aciers et Outillage Peugeot de Pont-de-Roide. L'ensemble de l'équipement électrique a été réalisé par CEM.

QUELQUES REALISATIONS RECENTES DE LA CEM EN METALLURGIE

LAMINAGE A FROID

Acier et outillage Peugeot Usine de Pont-de-Roide : équipement électrique avec automatisation par calculateur de process d'un laminoir Sendzimir ZR 22-25 pour acier inoxydable.

J.J. Carnaud et Forges de Basse Indre, Usine de Basse Indre : équipement électrique avec automatisation par calculateur de process d'un laminoir tandem cinq cages pour fer-blanc.

Compagnie des Forges de Châtillon Commentry Biache, Usine de Biache : équipement électrique d'un laminoir tandem quatre cages quarto pour acier doux.

Kombinat Aluminijuma, Usine de Titograd (Yougoslavie) : équipement électrique d'un laminoir quarto pour aluminium.

Stankoimport URSS : équipement électrique avec régulation automatique d'épaisseur d'un laminoir Sendzimir ZR 23 M 25 pour cuivre et alliage.

LAMINAGE A CHAUD

Ugine Kuhlmann, complexe sidérurgique de Fos-sur-Mer : équipement électrique avec automatisation par calculateurs d'un ensemble comprenant un blooming twindrive, une cage duo à billettes et un train à fils.

Aços Finos Piratini, usine de Rio Grande do Sul (Brésil) : équipement électrique d'un ensemble comprenant un blooming, un train à petits fers, un train à fils et un compensateur synchrone.

Centrozap, usine de Huta Celdera (Pologne) : équipement électrique avec contrôle automatique des boucles d'un train à fil.

Cegedur Pechiney, usine de Neuf-Brisach : équipement électrique avec automatisation de serrage d'un laminoir quarto réversible pour aluminium et alliages légers.

CEM
Cie Electro-Mécanique
37, rue du Rocher - Paris (8e)

EQUIPEMENTS DIVERS

Usinor, usine de Mardyck : équipement électrique d'une ligne de refendage d'acier doux.

Cegedur Pechiney, usine de Neuf-Brisach : équipement électrique d'une ligne de traitement thermique en continu pour aluminium et alliages légers.

Tréfimétaux G.P., usine de Sérifontaine : équipement électrique d'une ligne de traitement thermique pour bandes de laiton.

Centrozap, usine de Ligonia Katowice (Pologne) : équipement électrique d'une ligne à tubes de feuilles d'acier.

Kovohute, usine de Bridliena (Tchécoslovaquie) : équipement électrique d'un ensemble de lignes de coulée continue coupeuses, doubleuses et transbobineuses pour feuilles d'aluminium.

FOUR A SOLE BASCULANTE

Idéal
pour
la trempe directe,
sous atmosphère,
de petites pièces

• **Spécialistes de fours industriels,** les établissements JEAN AUBÉ fabriquent une gamme complète d'appareils de toutes dimensions pour le traitement thermique de tous les métaux : aciers, aluminium, cuivres, etc. Elaboration - transformation.

• **Fours chauffés aux huiles lourdes, au gaz** (par brûleurs ou par tubes radiants), ou **à l'électricité** (par résistance ou par induction) avec, **éventuellement, manutention mécanique et recyclage par turbine.**

• **Générateurs d'atmosphère,** brasure, frittage, traitements de surface.

• **Fours spéciaux pour tréfilerie,** recuit, patentage, galvanisation.

• **Galvanisation de pièces diverses.**

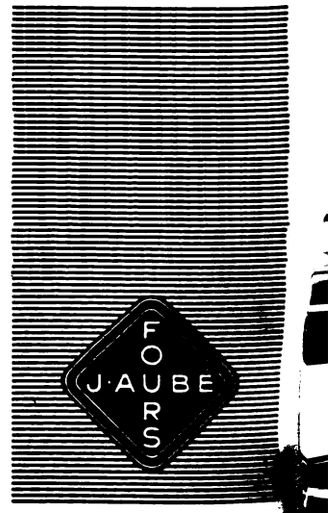
• **Etuves de fonderie.**

• **Installation d'émaillerie.**

Demandez une documentation complète aux :

ÉTABLISSEMENTS JEAN AUBÉ
Société Anonyme au Capital de 1 000 000 de F.
Siège Social et Usine
15, rue Danton 92-COURBEVOIE
Tél. 333.52.20

Licences exclusives : Lindberg Engineering C°, U.S.A. Sola Basic, U.S.A.



ECRÉEZ LA RÉALITÉ
ET
GAGNEZ DU TEMPS

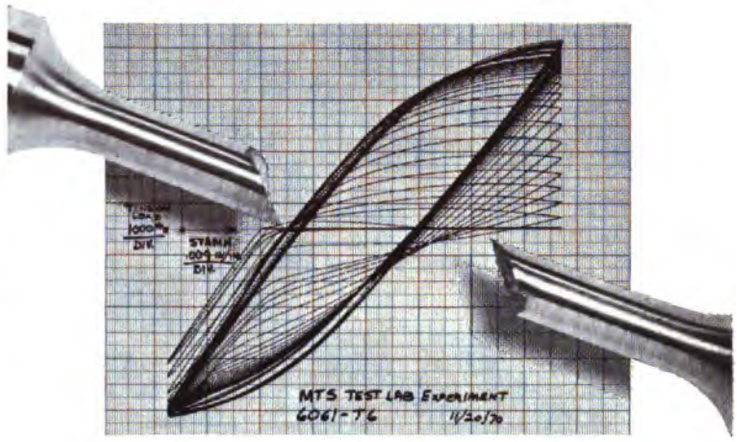
MTS

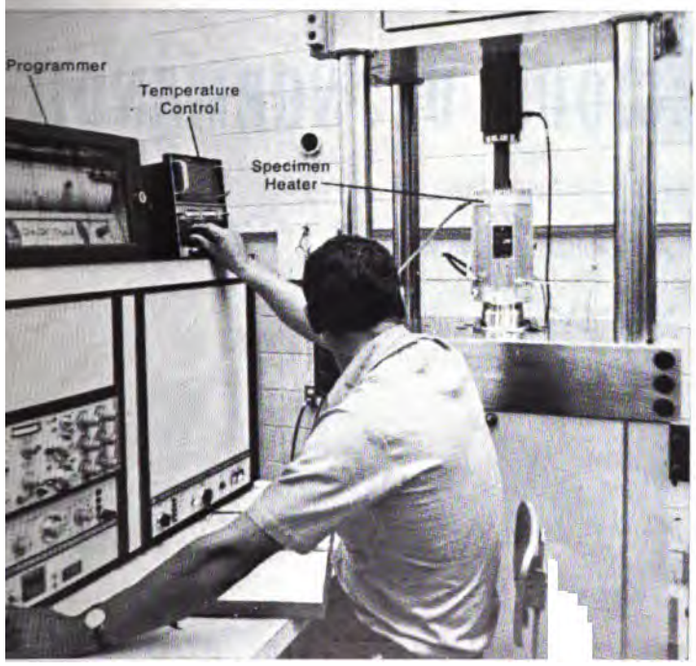
MTS SYSTEMS
GMBH

ssais mécaniques

- PLUS PRECIS
- PLUS FIDELES
- PLUS RAPIDES
- PLUS SURS

ontre : Enregistrement d'un essai de fatigue ocyclique, conduit par calculateur.





RESEARCH INC

Chauffage programmé

- Programmateurs analogiques DATA-TRAK
- Régulateurs de température précis et rapides
- Fours à rayonnement : rapides, paroi froide

Mesure et Automatisme pour l'Industrie et la Recherche
9 bis, Av. du Maréchal de Lattre de Tassigny - 92100 BOULOGNE (Seine)
Tél. : 603-53-11 — Télex : 26.650

MATERIEL POUR SIDERURGIE ET ELECTROMETALLURGIE

— Monte-charges de Hauts Fourneaux

— Matériel d'aciérie : démouleurs, appareils de desserte et d'entretien de convertisseurs, chariots

— Eléments de lignes de traitement de tôles en continu (dérouleuses, enrouleuses, cisailles)

— Installations de parachèvement

— Installations de meulage, chanfreinage, tronçonnage pour semi-produits et produits finis

— Installations spéciales de manutention

— Constructions d'ensembles à la demande

MATERIEL VIBRANT

— Distributeurs - Extracteurs électromagnétiques de 0 à 500 t/h

— Extracteurs précribleurs (Grizzly)

— Transporteurs vibrants Transflex

— Tables vibrantes

Cisaille à ébouter (largeur 1 550)

FOURNIER & MOUILLON - 71 - GENELARD

SOCIÉTÉ MÉTALLURGIQUE DE NORMANDIE

Siège Social : 16, Boulevard Malesherbes, 75 - PARIS 8e

Usines à MONDEVILLE (Calvados)

LAMINÉS MARCHANDS

FIL MACHINE

ACIER TOR

TRÉFILÉS

TREILLIS SOUDÉS

Laitiers concassé et granulé - Agglomérés de laitier

Scories Thomas - Sulfate d'Ammoniaque

installations continues

ligne de carbonitruration de barres-tulipes - 2 fours à une file de 12 plateaux - bac de trempe à l'huile chaude refroidie à l'air soufflé - 480 kg/h
profondeur de traitement 0,4 > 650 HV_1

2 lignes de recuit isotherme de 1 T/h chacune - pièces chargées en vrac dans des paniers posés sur plateaux 600 x 900 - cellule de refroidissement rapide par air chaud soufflé provenant du four de maintien (ajustage de la température par air frais extérieur). Four de maintien avec brûleur unique et turbine de recirculation à gros débit.

h. gignoux conseil - photos henri beroul, peugeot

UGINE infra

14 rue du drac 38 GRENOBLE tél (76) 96.50.54
20 bis, rue la boétie - PARIS 8e - tél 266.48.10

Je désire recevoir, sans engagement de ma part, une documentation complète sur
☐ **fours à bac de trempe incorporé**
traitements : ☐ **sous atmosphère ;** ☐ **sous vide ;** ☐ **par induction**
☐ **fours à bain de sel**

nom _____
société _____
fonction _____
adresse _____
Bon à adresser : 14 rue du drac - 38 Grenoble

CLASSIMAT pour l'analyse quantitative impersonnelle des images en microscopie et macroscopie.

nouveauté

Leitz

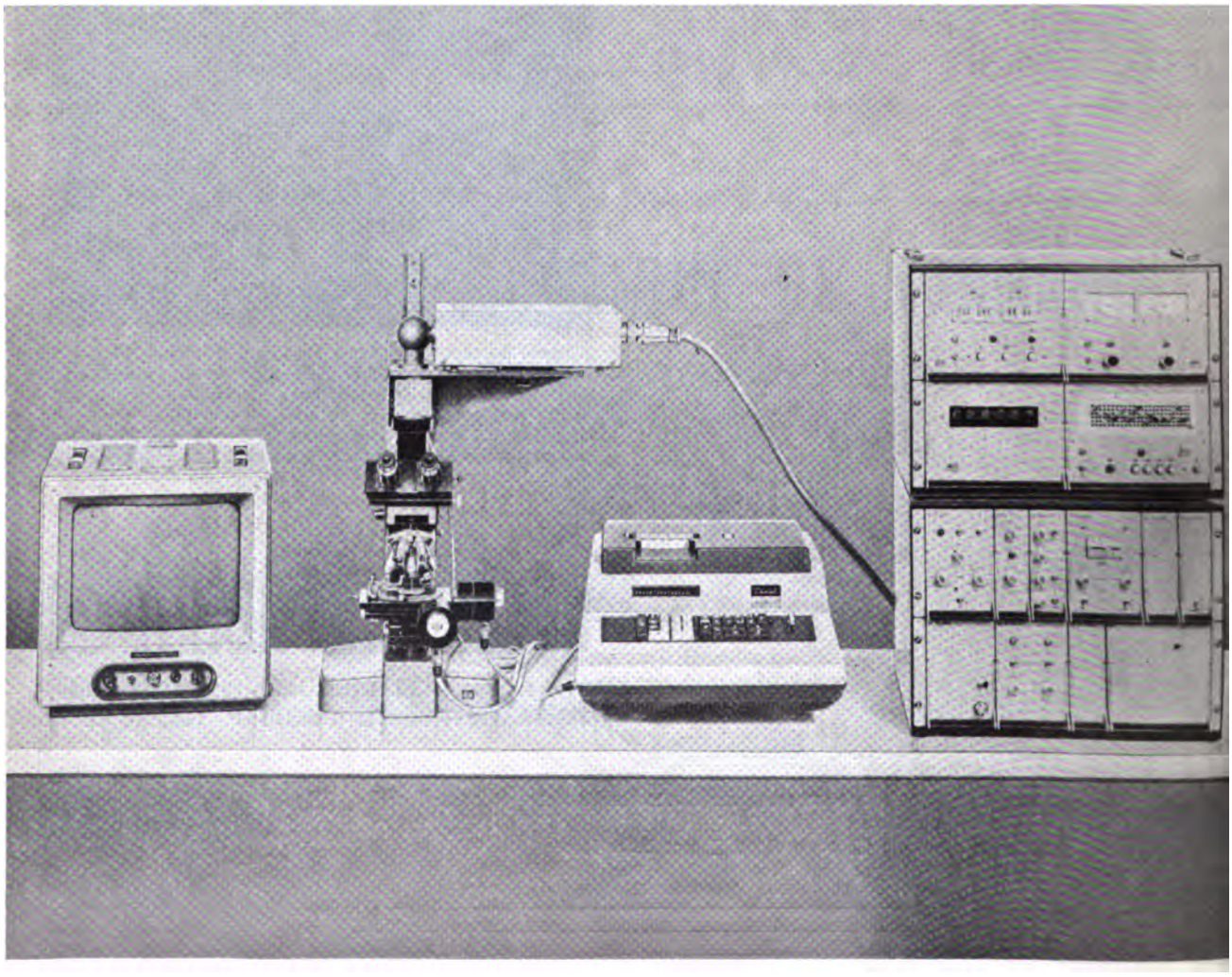
Le CLASSIMAT de LEITZ est un appareillage opto-électronique de conception modulaire.

La qualité des optiques LEITZ, la parfaite interchangeabilité des techniques d'éclairage, offrent un large éventail de grandeurs mesurables dans tous les domaines de la microscopie et de la macroscopie.
La différentiation des structures analysées par une gamme de 10 intensités de gris, le traitement numérique des informations recueillies assurent la précision et la reproductibilité des mesures.

Pour les catalogues adressez-vous à
LEITZ-FRANCE Tél. : 588.42.80
17-19, rue Danton
94-Le Kremlin-Bicêtre

Leitz WETZLAR SYMBOLE DE PRÉCISIOI

Le programme de LEITZ-FRANCE comprend en outre pour la MICROSCOPIE : Microscopes de travaux pratiques. Microscopes de laboratoires. Microscopes de recherch Microscopes polarisants. Equipements pour fluorescence et contraste de phase. Optique pour éclairage incident. Platines chauffantes. Miscrocopes spéciaux : intrav criminalistique, inversé, interférentiel, pour traces nucléaires. Microphotomètres. Monochromateurs. Chambres photographiques automatiques 24×36 mm, 9×12 r et 4×5". Microprojecteurs. Microtomes, type Minot, à glissière, à congélation. Congélateur CRYOTOME. Micromanipulateurs.



USINE DE DUNKERQUE

usinor

Siège social et direction générale: 14, rue d'Athènes PARIS 9 ème

POMPES A ENGRENAGE

ROPER
COMMERCE - U.S.A.

● Pour ligne de graissage
(laminoirs, machines à papier, etc.)

Sté DYNATEC
1 bis, rue Rouget-de-l'Isle - 92 - Courbevoie - Tél. 788.03.09

SOCIÉTÉ NOUVELLE des ACIÉRIES de POMPEY
SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 71.000.000 F

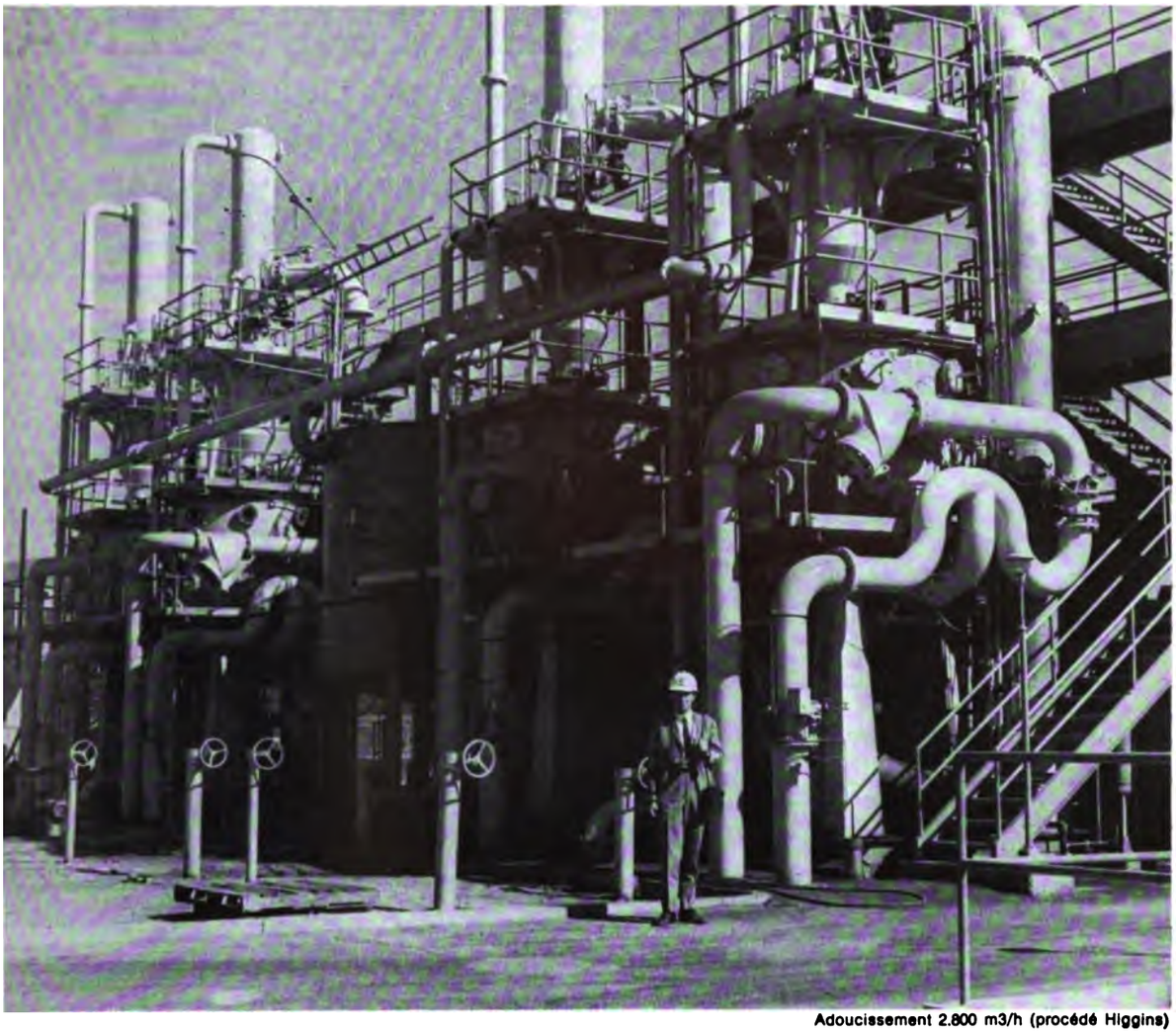
ACIERS SPÉCIAUX
au Carbone et Alliés

BARRES ÉTIRÉES ou RECTIFIÉES

FERRO - MANGANÈSE

47, rue de Villiers
Téléphone : 722-78-30

92 - NEUILLY s/SEINE
Telex : POMPEAC 62.584 F



Adoucissement 2.800 m3/h (procédé Higgins)

CTE: de l'eau ennoblie au coût le plus bas.

lifférence n'est pas mince.
ıacun de vos problèmes d'eau
ıstrielle (fabrication, alimentation,
ɔidissement), C.T.E. vous propose le
ɜment et l'installation les plus
es, les moins coûteux à
l'exploitation et technologiquement les
plus avancés, pour
un résultat garanti.
La maîtrise de l'expérience
de C.T.E. et les hommes qui
s'y trouvent réunis, vous apportent plus.

Compagnie Européenne de Traitement des Eaux
4, rue du Général Foy / Paris 8e / Tél. 522.78.90

innovente-paris

VEB Carl Zeiss JENA

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE ALLEMANDE

Equipement de microanalyse spectrale à laser "L M A 1"

aus JENA

METHODE

Les échantillons à analyser sont observés au microscope et l'énergie laser emprunte le même chemin optique que le microscope. Le spectre émanant de l'échantillon est obtenu à l'aide, d'une part, d'un flash laser et, d'autre part, d'une décharge électronique.

AVANTAGES DE LA METHODE

Aucune préparation particulière de l'échantillon n'est demandée et le faisceau laser permettant la micro-analyse, peut être réglé entre 10 et 250 μ.

DOMAINES D'APPLICATION

Les domaines d'application sont très vastes et nous pouvons en citer ci-après quelques-uns :

— minéralogie
— métallographie
— technique des silicates
— archéologie
— médecine y compris la biologie et la criminologie.

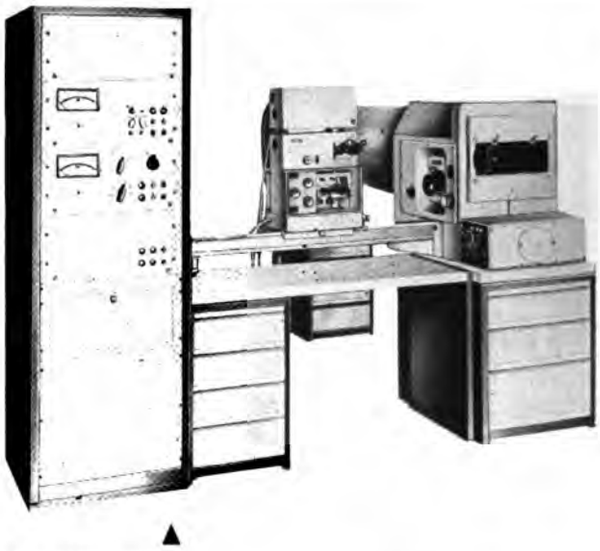
CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Laser à solide comportant : tête de laser, réflecteur avec lampe flash, résonateur.

Puissance maximum d'accumulation 1 000 W/s

Puissance de sortie I W/s
Temps de recharge 20 s

Haute tension entre les électrodes réglable de 0 et 5 kW.



▲ Le LMA I avec le spectrographe à réseau plan PGS 2

Vue de la tête laser et du microscope du LMA I ►

VEB Carl Zeiss JENA

Agent Général :

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE PHYSIQUE

48, boulevard de la Bastille
PARIS 12e
Tél. : 344.12.34

Office Publicitaire de France

Pour le laminage du fil de qualité le Contiloop

Une fois de plus MORGÅRDSHAMMAR a été choisi pour délivrer un nouveau train: le client est cette fois la Société Espagnole FORJAS ALAVESAS S.A.

Ce train à fil est entièrement du type Contiloop — disposition à haute productivité et grande flexibilité pour le laminage en continu à boucles controlées.

Les cages, toutes DUO sont alternées deux à deux. Chaque cage est commandée par un moteur séparé. Entre les cages, la barre est guidée par de simples tubes et doubleuses. La cage finisseuse est choisie en fonction de la dimension. Les bobineuses se déplacent le long des cages finisseuses.

Les cinq années d'expérience acquise à ALLOY STEEL RODS Ltd., Grande Bretagne, démontrent que la disposition CONTILOOP offre les avantages suivants:

- temps nets élevés
- très bonne mise au mille
- fil exempt de rayure d'un bout à l'autre de la couronne
- tolérances serrées sur toute la longueur
- contrôle de boucle simple
- possibilité de contrôle de la température en cours de laminage
- vitesse finale de laminage élevée
- accélération obtenue avec moteurs de faible puissance.

MORGÅRDSHAMMAR

Morgårdshammar AB, Fack, S-777 01 Smedjebacken 1, Suède
Téléphone: 0240-711 00 Télex: 73243 morverk s
Représentant exclusif en France:
Société Technom: 11, rue Chaptal, 92- Levallois
Téléphone: Paris 737-91-90 Télex: 62514

ENSEMBLE DE COULÉE CONTINUE ET DE LAMINAGE A LA SUITE

- permet d'obtenir des ronds pour tubes sans soudure, laminés à la suite de la coulée continue, sans réchauffage, d'où une économie importante ;
- les chutes d'extrémités sont donc très réduites et l'absence de réchauffage diminue les pertes au feu ;
- le stockage de lingots et toutes les manutentions avant le train à tubes sont supprimées ;
- le procédé réduit les investissements dans les installations nouvelles et il resserre les prix de revient ;
- le laminage à la suite de la coulée continue donne un métal bien compact et il uniformise les propriétés mécaniques sur toute la section de l'ébauche ;
- le procédé permet l'obtention de ronds pour tubes dans les diamètres de 50 à 200 mm.

OPF - UNIVAS

Exportateur :

MACHINOEXPORT
Moscou V-330 (U.R.S.S.) - Télex : 207

Représentation pour la France :
JEAN PELLAGNIEN
46 à 48, rue de Sèvres - 92 - VILLE-D'AVRAY
Tél. : 945-50-17

filtres & épurateurs SOFRANCE

1 des 12 Duplex 3036 pour l'épuration de l'huile de graissage des laminoirs du complexe sidérurgique d'USINOR à Dunkerque. Ces appareils réellement automatiques ne demandent ni entratien ni pièce de rechange.

34, avenue du Général Leclerc - 87 LI
tél 55/77.37.26 télex

firme correspondante
AUGUST G. KOCH - MASCHINE
23 Kiel-Hassee, Allemagne - télex

CLÉ de SÉCURI

Pour manipulation de

RAILS
PROFILE
BILLETTE
BLOOMS
LARGETS,

AUTRES DEPARTEME

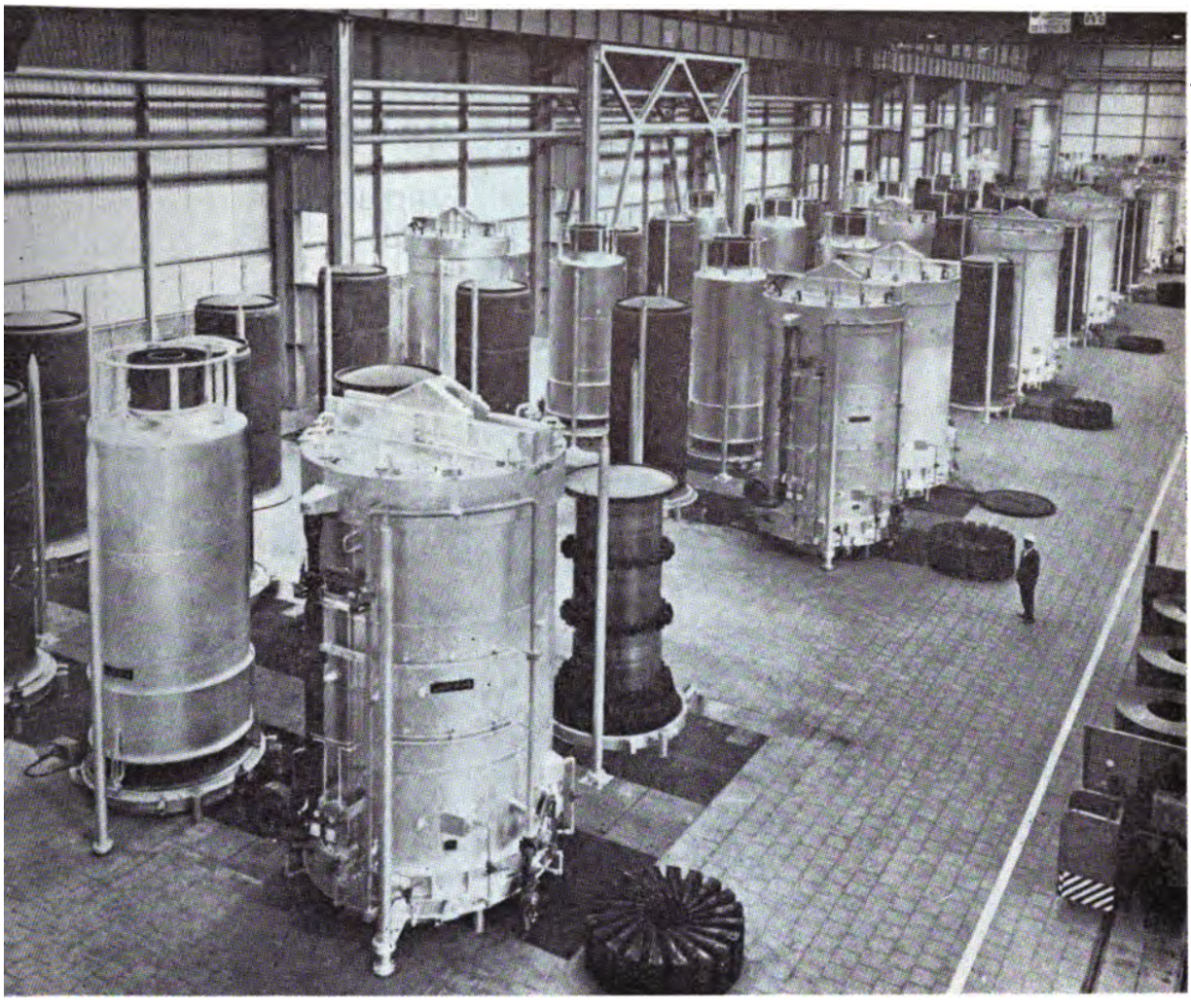
Masques anti-pouss
Signalisation au so
Panneaux de prévo
Casques, bottes, g

LES ENFANTS DE J. MER

19, rue Emile-Friant - 54 - NANCY
Tél. : (28) 53-55-09

Agence à 60 - COMPIEGNE, 52, rue de
Tél. : (4) 440-31-16

WIO OFAG BELGE
RS INDUSTRIELS SPRL



de recuit brillant en fours à cloche, chauffée au gaz naturel : consommation calorifique 135-170.000 kcal/T production par base : 0,6 à 1,3 T/h

ırquoi
s de 80 % de la pro-
:tion Allemande de
;s à larges bandes
ıinées à froid est-elle
:uite
ıs les fours à cloche
dwig?

Les installations LUDWIG offrent un maximum de sécurité, permettent une production élevée tout en maintenant la qualité ainsi qu'une excellente rentabilité.

Par ses recherches continues et son expérience acquise, LUDWIG est à la pointe du progrès et contribue d'une façon certaine à l'évolution des nouvelles techniques.

Le service après-vente et les conseils techniques, secondés par les laboratoires LUDWIG, sont octroyés gratuitement à nos clients pour tout problème se rapportant aux techniques de recuit.

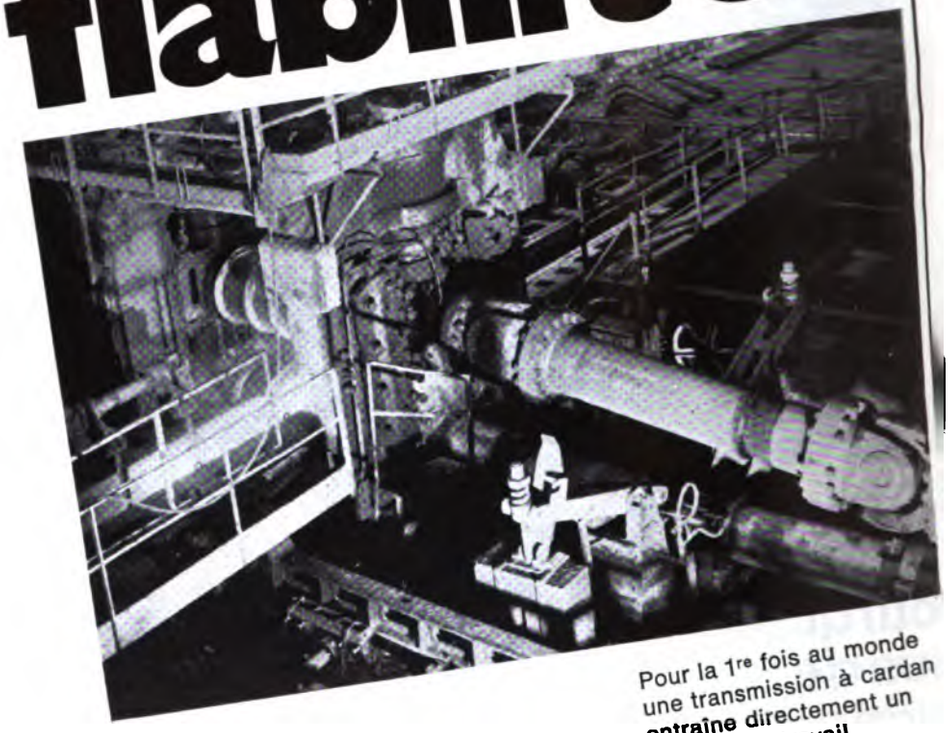
OFAG BELGE - FOURS INDUSTRIELS SPRL - 165 RUE DE FRAGNÉE - B 4000 LIEGE BELGIQUE

TELEPHONE : 04/52.20.48 (3 lignes) - TELEX : 41846

parce que la production sidérurgique
ne souffre pas d'arrêt
la société Creusot-Loire a adopté
une transmission à cardan GS/GWB
pour l'entraînement de son blooming

un an de service sans interruption...
c'est ça la fiabilité GS/GWB

fiabilité !



Pour la 1re fois au monde
une transmission à cardan
entraîne directement un
cylindre de travail
de blooming.
240 inversions/heure mini
angle de travail 8°
longueur 5 m, poids 7 t
couple de travail de 4000
à 60000 m da.N

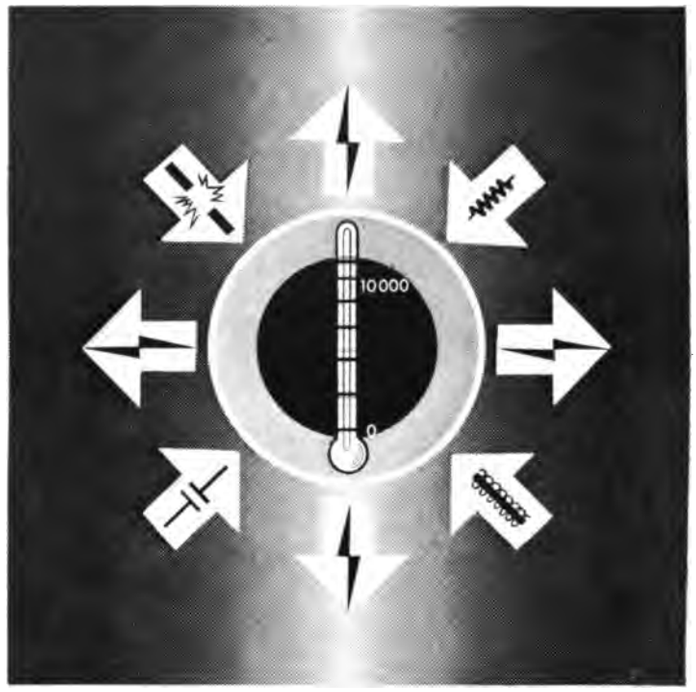
transmissions
à cardan
GLAENZER SPICER
GELENKWELLENBAU

département industrie GS/GW
2 à 8 rue Jules-Ferry
92-Courbevoie
Tél. : 333.77.60
Télex : 62.629

S5 1872

DANS VOTRE USINE, UTILISEZ-VOUS AU MIEUX TOUTES LES POSSIBILITES DE L'ENERGIE ELECTRIQUE?

*chauffage par arc
*chauffage par résistance
*chauffage par induction
*chauffage diélectrique
*bombardement électronique
*plasma (arc, induction) etc.



Il y a toujours une solution électrique à tout problème de

chauffage industriel

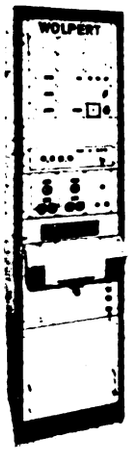
Nos services spécialisés sont à votre disposition.

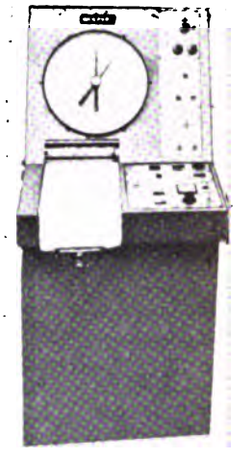
la brochure **l'électrothermie et ses applications industrielles** vous sera gracieusement adressée sur simple demande.

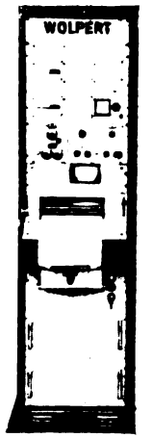
ÉDITIONS SODEL S.A. 69

Direction de la Distribution. Service Commercial. Applications Industrielles.

CÉDEX n° 8 - 92 - PARIS-LA-DÉFENSE

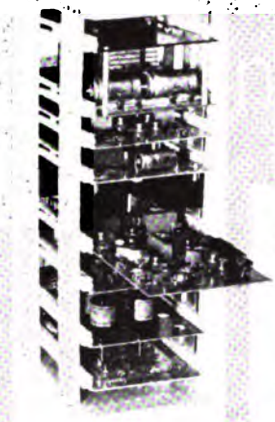


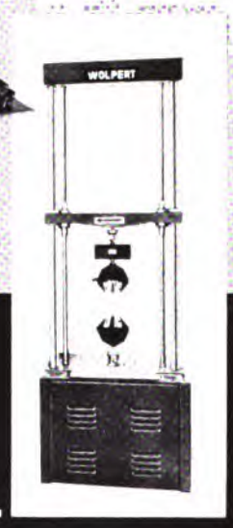


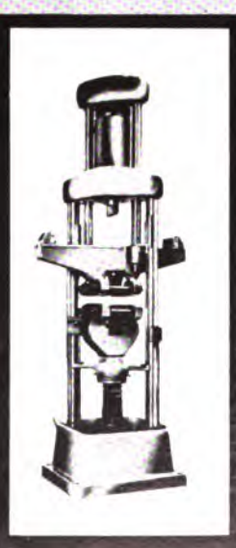


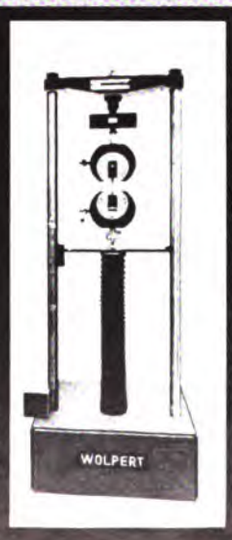
Spécialiste des essais...

TESTWELL
Vous offre







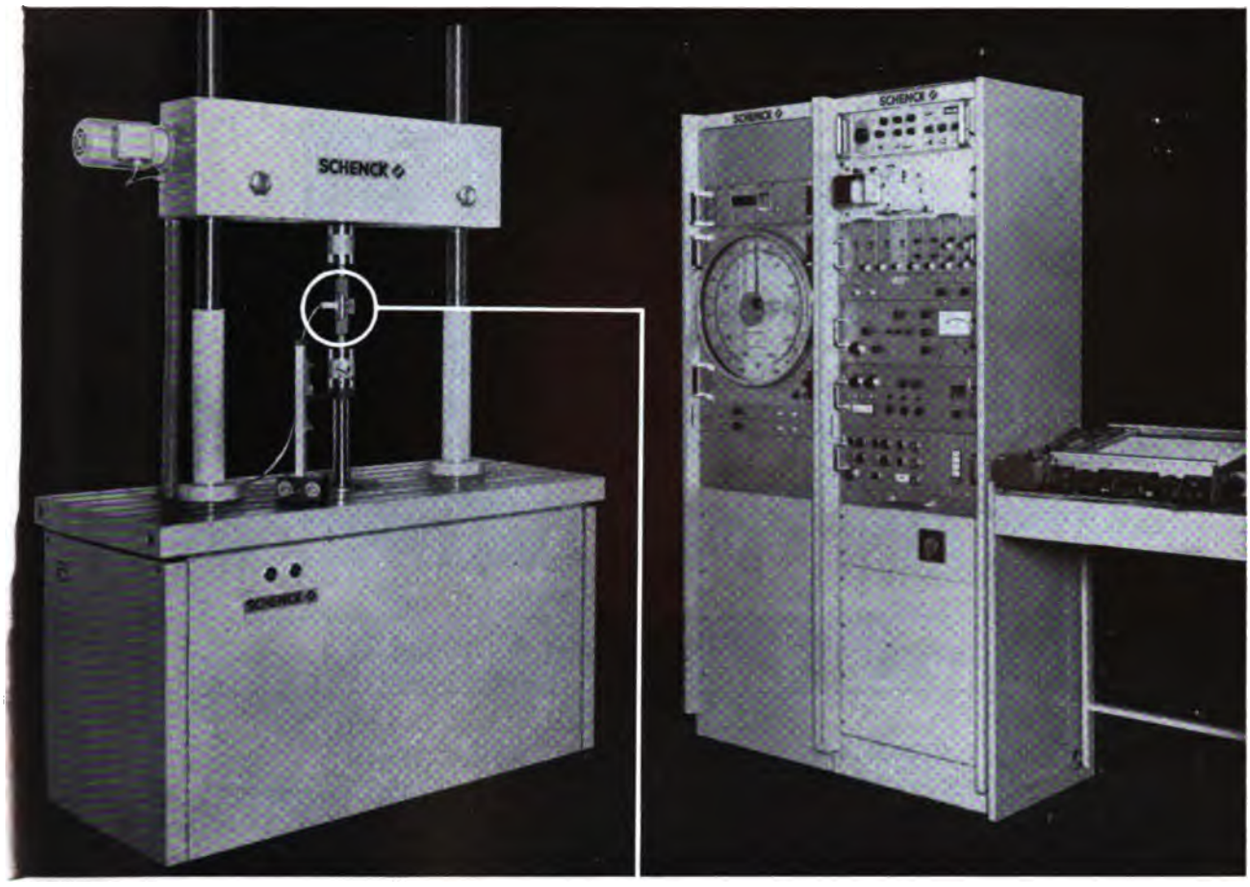


un cadre d'essais.

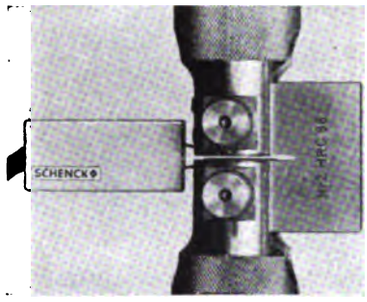
ses solutions à vos problèmes.

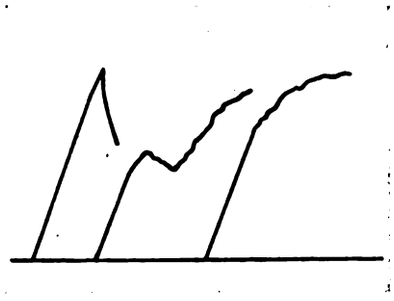
Consultez-nous ! Nos ingénieurs sont à votre disposition pour vous renseigner et vous faire visiter nos salles d'exposition.

TESTWELL 36 bis, rue de la Tour-d'Auvergne - 75 Paris-9e - 878.81.40+



P 261





Mécanique de rupture

Le but de la mécanique de rupture est de déterminer l'endurance à la fissuration de matériaux très résistants afin d'éviter les ruptures.
Les machines d'essais servo-hydrauliques SCHENCK, avec circuit de régulation à boucle fermée et la possibilité de régler la rigidité de la machine à une valeur quelconque, remplissent les conditions d'essais. Un essai dynamique sur l'éprouvette, suivi d'un essais de traction, peut être fait sur la même machine sans démontage intermédiaire. L'élargissement de la fissure, capté avec le dipositif de mesure de rigidité, sert d'échelle à la progession de la fissure. Le diagramme des forces en fonction de l'élargissement de la fissure est tracé à l'aide d'un enregistreur-XY.
Quels que soient vos problèmes d'essais, SCHENCK peut vous aider à les résoudre. Consultez SCHENCK.
Nous vous envoyons volontiers des documents d'information concernant des machines statiques et dynamiques ou des essais intéressants, à votre demande.

Carl Schenck Maschinenfabrik GmbH · D-61 Darmstadt · Allemagne

Filiales pour la France: SCHENCK-FRANCE · 12 Villa Laugier, F-75 PARIS 17e, tél. 924 63 73-75, télex 29 350
31 Quai Rambaud, F-69 LYON 2e, tél. (78) 42 73 91
4 rue de Belford, F-31 TOULOUSE 01, tél. 62 41 01, télex 48 908

DUROMETRE HPO 250

Pour la détermination de la dureté Vickers et Brinell de l'acier et de métaux de toutes sortes.
Comprenant 15 gammes d'efforts :
- Pour Brinell 15,62 - 31,25 - 62,5 - 187,5 - 250 kg
- Pour Vickers 5 - 10 - 15 - 20 - 30 - 40 - 50 - 60 - 100 et 250 kg

Caractéristiques

1 - Sélection des charges par bouton-poussoir
2 - Empreinte projetée sur verre dépoli
3 - Mesure des empreintes par vis micrométrique (précision 0,001)
4 - Grossissements de 35 - 70 et 140.

WPM - SCHOPPER LEIPZIG - République Démocratique Allemande

Exportateur :
intermed-export-import
Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik
102 BERLIN, Schicklerstrasse 5/7 POB 17 - R.D.A.

Agent Général en France :
COMPAGNIE GÉNÉRALE DE PHYSIQUE
48, Boulevard de la Bastille - PARIS 12e
Tél. : 344.12.34

OPF. UNIVAS

FOURS INDUSTRIELS
MOURATILLE
MAISON FONDEE EN 1825
193, avenue Félix-Faure — 69003 LYON
Téléphone : (78) 60-10-15

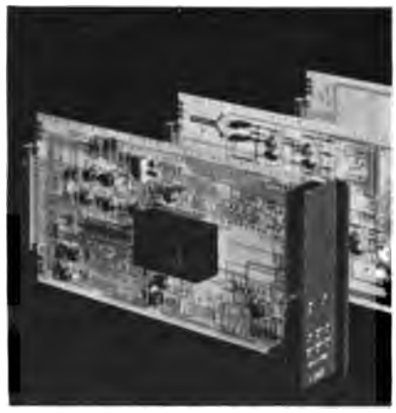
FOURS ÉLECTRIQUES
FOURS INDUSTRIELS A TOUS COMBUSTIBLES

machines et accessoires pour
CRIBLAGE ESSORAGE TAMISAGE PRÉPARATION
S.A.R.L. - B.P. 153 - 59602 Maubeuge - Tél. 64-69-25

Tous types de toiles métalliques, grillages, Tôles CONIDURE — Toiles synthétiques de tamisage tapis transporteurs métalliques en tous métaux
— **CRIBLES SPECIAUX INCOLMATABLES** —

Maintenant toes les systèmes de régulation électronique tiennent dans un jeu de 17 cartes.

C'est le nouveau pas franchi par Foxboro dans le domaine de la régulation industrielle.
Un pas décisif : **SPEC 200,** un ensemble électronique simplifié capable de résoudre tous les problèmes de contrôle et de régulation et d'abaisser les coûts d'installation et d'exploitation.
A la base de **SPEC 200:** une idée radicalement différente qui permet l'utilisation de 17 platines-circuit embrochables. Les nombreuses combinaisons possibles engendrent, selon vos besoins spécifiques, les diverses fonctions : conversion de signaux, régulation, calcul analogique...



Une platine-circuit embrochable par fonction.

Grâce à cette conception modulaire originale, le **SPEC 200** apporte une flexibilité dans l'étude et une facilité d'exploitation jamais atteintes. C'est la solution d'aujourd'hui pour la régulation des usines productrices d'énergie ou de transformation : chimie, pétrole et gaz, industrie papetière, métallurgie, industrie alimentaire, textile, etc.

Système analogique présenté sous forme d'un ensemble complet, le **SPEC 200** est aussi parfaitement compatible avec les calculateurs numériques. C'est le rôle d'Interspec, sous-ensemble de liaison du **SPEC 200,** qui constitue un véritable interface entre les domaines analogiques et numériques. Avec le **SPEC 200** Foxboro vous offre la régulation "à la carte".

SPEC 200

FOXBORO

FOXBORO FRANCE S.A.
92 bd Victor-Hugo 92 - Clichy Tél. 270.63.00

6 agences en France : Paris-Clichy, Lyon, Strasbourg, Arras, Aix-en-Provence, Nantes.

Le 880 K connait la même réussite que le 770

"C'est moi qui roule"

Pour moi, le confort n'est pas un luxe mais une nécessité, parlons-en...

Le confort est un des points de supériorité du 880 K.

La cabine est une 3 places, une vraie 3 places avec plancher continu, sans tunnel pour le moteur. Intérieur entièrement capitonné. Déflecteurs, 2 ouvertures d'aération chauffage. Le pare-brise de 1,227 m² est très panoramiq

L'entretien est-il facile ?

Oui, la plupart des vérifications s'effectuent à hauteu d'homme en ouvrant le volet de calandre.

Et la conduite ?

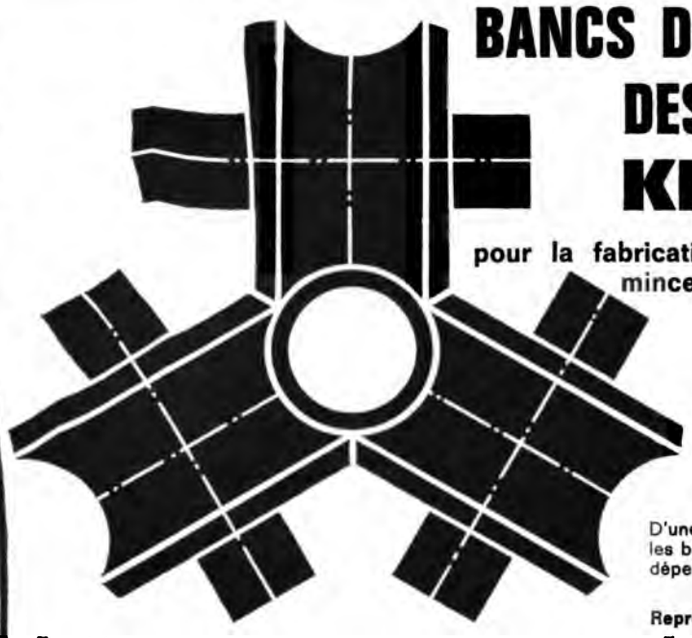
La direction est douce et précise. La boîte a 5 rapports synchro, intelligemment étag Elle permet les reprises brillantes en ville et les moyennes appréciables sur route.

Le 880 K est-il maniable et pratique en ville ?

Il est idéal pour décrocher, virer, se faufiler. On peu sortir à droite sans acrobatie. Le plateau à 1m du sol facilite les déchargements.

Et sur route ? Le 880 K peut très bien faire de la moyenne distance. Le confo poussé de sa cabine, une excellente suspension, la possibilité de tenir la moyenn le lui permettent plus qu'aisément.

BANCS DE LAMINAGE A FROID DES TUBES PAR GALETS KPTR



pour la fabrication des tubes de précision à parois minces de 8 à 60 mm de diamètre.

	KPTR 8-15	KPTR 15-30	KPTR 30-60
Diamètre du tube, mm	8 à 15	15 à 30	30 à 60
Épaisseur minimale des parois, mm	0,08	0,1	0,3
Production, m/h	15 à 35	15 à 35	15 à 35

D'une conception simple, faisant appel à un outillage sommaire les bancs KPTR permettent de réaliser la production avec des dépenses d'énergie minimes et des frais d'exploitation réduits.

Exportateur :
MACHINOEXPORT
MOSCOU V-330 (U.R.S.S.) - Telex: 207

Représentation pour la France:
Jean PELLAGNIEN
46 à 48, rue de Sèvres
92 - VILLE D'AVRAY
Tél.: 945.50.17

office publicitaire de France - UNIVAS

FONDERIES DE NOGENT

LAFEUILLE & Cie

●

Service Commercial : 79-81, rue d'Aguesseau

92 - BOULOGNE - France

Tél. : 605-79-50 Télex : 29.163 Service 226

Usine à NOGENT-SUR-OISE (60) France

▼

PIÈCES MOULÉES
PIÈCES DE COULÉE CENTRIFUGE
PIÈCES DE COULÉE SOUS PRESSION
PIÈCES FORGÉES

▲

TUYERES A VENT pour hauts fourneaux

EMBOUTS pour lances à oxygène

en cuivre électrolytique **chimiquement pur,** exempt d'oxygène, à très haute conductibilité thermique

PINCES D'ELECTRODES
PLAQUES DE CONTACT

en cuivre chrome traité thermiquement, à hautes caractéristiques mécaniques et électriques

LINGOTIERES MONOBLOC
pour coulée continue de l'acier
(Brevet S.A.F.E.)

en cuivre chrome zirconium traité thermiquement

ECROUS DE PRESSION
SAVONNETTES D'ALLONGE

en laiton H.R. UZ 23 A 4 - UZ 19 A 6 - S.A.E. 430 B

Minerais de Fer de Manganèse de Chrome Magnétites

★

PEQUIN

1, boulevard de Vaugirard — PARIS 15

Tél. : **566-42-22** — Télex : 20.946

LA DOLOMIE FRANÇAISE

Briques de Dolomie

Convertisseurs - Voûtes de fours électriqu
Chenaux et poches de coulée

LA DOLOMIE FRANÇAIS

Direction des Ventes

39, rue Erlanger — 75 - PARIS-16e

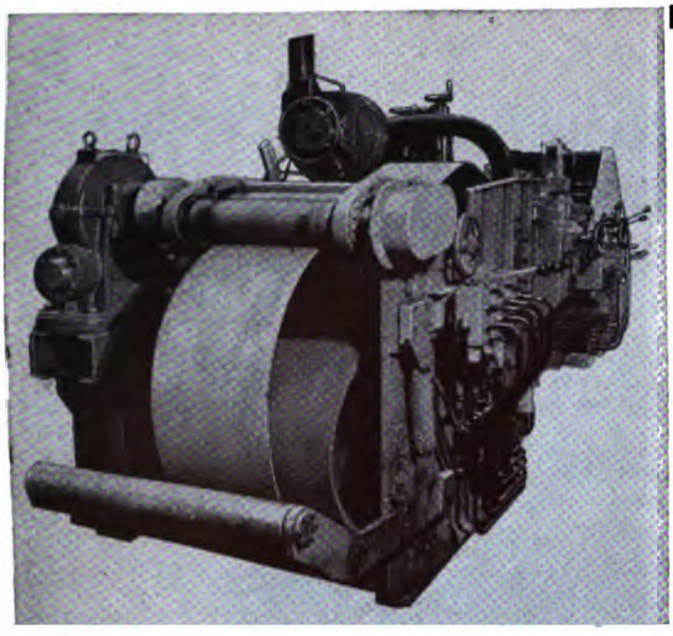
Téléphone : **525-00-93** - Télex : 62921

De la légèreté du tube naît l'élégance de la construction

Les tubes carrés et rectangulaires de Tubes de la Providence jaillissent du sol en structurant les charpentes métalliques. Leurs sections rationnelles présentent une robustesse et une légèreté remarquables, particulièrement appréciées des architectes. Des techniques industrielles ultra-modernes assurent aux tubes carrés et rectangulaires de Tubes de la Providence un acier de qualité homogène. Livrés recuits et dressés, les tubes carrés et rectangulaires de Tubes de la Providence offrent aux architectes une gamme étendue de possibilités d'utilisation et de conditionnements : longueurs, sections, épaisseurs, masses et poids sont; en effet, étudiés selon des normes nationales, étrangères ou particulières. Dans les problèmes d'armatures et de construction modernes, ces tubes apportent des avantages précieux : tout d'abord une esthétique de présentation incomparable; et puis leur évidement quadrangulaire permet le passage de câbleries, de conduites, de descentes d'eau ainsi que le remplissage en béton.

Si vous désirez une documentation technique complète, écrivez à :
Tubes de la Providence S. A., 8 rue de Penthièvre, 75 - Paris 8e. Tél. 265.03.29.

D.C. Ind. et Equip. TUB 037



matériels d'équipement pour la métallurgie

une ligne
de soudage
de bandes
de laiton
←

opta

RUX et USINES
6 Bd de la République
3-LIVRY-GARGAN
7-29-94 et 95

Embranchement particulier

GROUPE DE COULÉE SEMI-CONTINUE D'ÉBAUCHES CREUSES EN ACIER

— assure l'obtention d'ébauches creuses pour la fabrication des tubes, des roues, des chemises et autres pièces ;
— réduit et simplifie le cycle technologique dans la fabrication des chemises et des tubes sans soudure ;
— réduit la mise au mille ;
— réduit les investissements d'implantation pour les ateliers de fabrication de tubes et, en conséquence, améliore le prix de revient des tubes ;
— garantit la qualité de la surface intérieure et de la surface extérieure des ébauches creuses et apporte une amélioration de leur macrostructure ;
— permet d'obtenir des ébauches creuses dont les variations d'épaisseur ne dépassent pas 2 à 4 % suivant les longueurs et les sections.

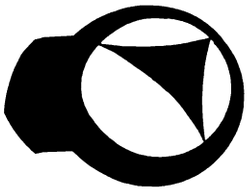
Exportateur :

MACHINOEXPORT

Moscou V-330 (U.R.S.S.)
Télex : 207

Représentation pour la France :
Jean PELLAGNIEN
46 à 48, rue de Sèvres — 92 - VILLE-D'
Tél. : 945-50-17

FEUILLARDS LAMINES A CHAUD
BANDES A TUBES
LAITIERS CONCASSES & GRANULES



Société Anonyme COCKERILL-OUGREE-PROVIDENCE et ESPERANCE-LONGDOZ
en abrégé

"COCKERILL"

GROUPE DE REHON-HAUTMONT
DIVISION DE REHON

B.P.32 F 54 - LONGWY-BAS
Téléphone LONGWY 28 (23.39.08)

M 3 111 727

Siège social à SERAING (Belgique)

DUJARDIN - MONTBARD - SOMENOR - D.M.S.
issue du regroupement de :

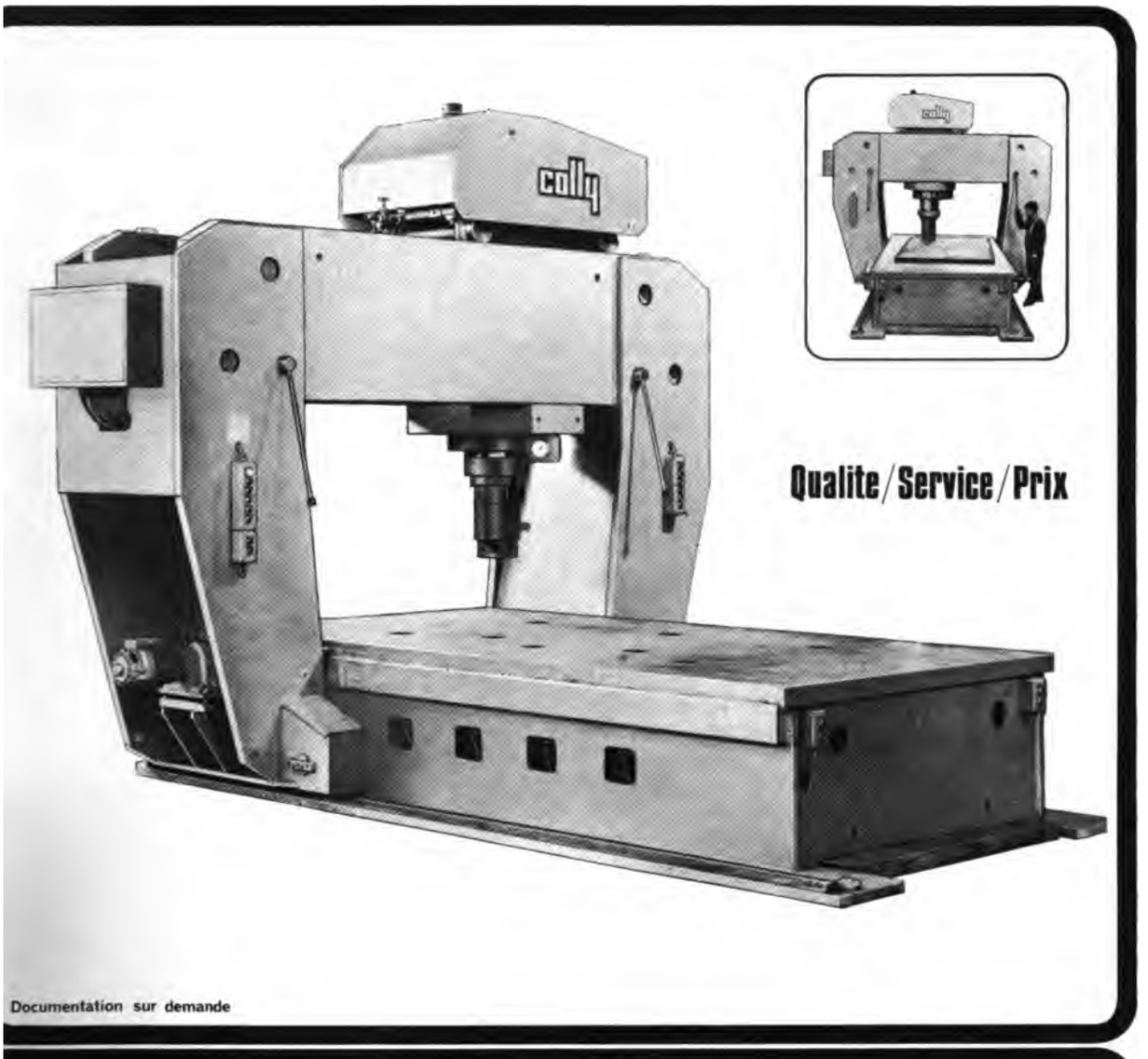
DUJARDIN S.A. (ex DRESSER DUJARDIN)
SOCIETE de CONSTRUCTION de MONTBARD - S. C. M.
SOCIETE METALLURGIQUE du NORD - SOMENOR
concentre les activités de constructions mécaniques du groupe VALLOUREC. D. M. S., tant par sa propre conception que par l'exploitation des licences AETNA STANDARD - YODER - MANSAVER, a acquis depuis près de vingt ans une expérience et une réputation dans deux domaines d'équipements :

DIVISION PRODUITS PLATS
- Matériel d'alimentation de presses de découpe et d'emboutissage.
- Lignes de traitement et parachèvement de produits plats.
- Matériels de manutention, pinces, grappins, retourneurs.

DIVISION TUBES et PROFILES
- Lignes de profilage.
- Laminoirs et parachèvement de lignes à tubes.
- Matériel de forge et « curving ».

DUJARDIN MONTBARD SOMENOR

DIRECTION COMMERCIALE
102, RUE DES POISSONNIERS — 75018 PARIS
TELEPHONE : PARIS (1) 252-12-12



presses a planer

force 150 , 250 et 350 tonnes

colly S.A

constructions hydromécaniques

66 à 72, rue émile decorps / lyon-villeurbanne / france

téléphone (78) 84.38.88 + / télex prescol 34118 f

Depuis 70 ans,

LES ETS NEU

équipent la Sidérurgie Française

Spécialistes en

Turbo-machines

Conditionnement de l'air

Séchage

Dépoussiérage et Environnement

Transport pneumatique

Les Etablissements NEU ont étudié, réalisé et installé :

● à USINOR DUNKERQUE

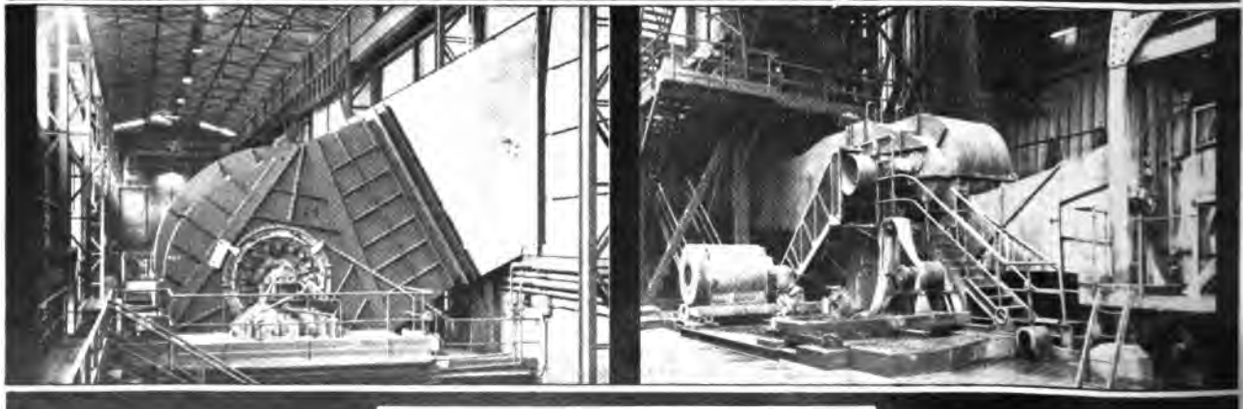
l'ensemble des ventilateurs de la nouvelle agglomération :
. ventilateurs de tirage principaux (8.000 kW)
. ventilateurs du refroidissoir
. ventilateurs de dépoussiérage des locaux
pour le HF 3, une installation de dépoussiérage des accumulateurs (débit d'air : 160.000 m3/h) et un filtre à manches de 2.100 m2.

● à WENDEL SIDELOR ROMBAS

pour la nouvelle agglomération :
. ventilateurs de tirage principaux (9.000 kW)
. ventilateurs du refroidissoir

● à SACILOR

les ventilateurs de tirage des aciéries Kaldo (500 kW) et LVP (800 kW).



ETS NEU S.A.
Sac postal N° 2028 - 59 - Lille - France
Tél. : (20) 72.17.00
Télex : 81 960 NEULILL-MARCB
Télégr : ETNEU - LILLE

ITS DE CHAUX ET D'OXYGENE DOSÉS AU PLUS JUSTE

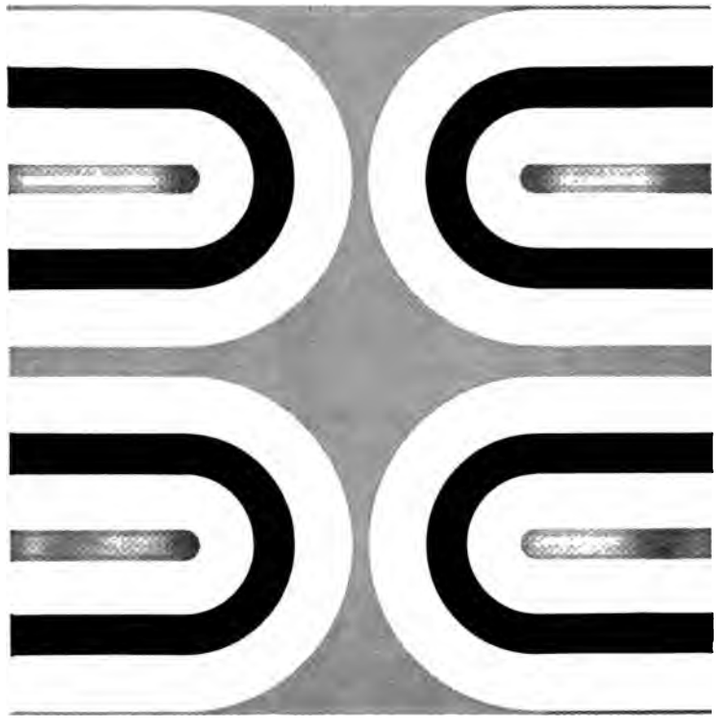
SIUS étudie pour les aciéries, des ıuteurs statiques de pulverulent procédé t l'IRSID, ce qui permet, dans une large e, le contrôle des débits de chaux et ıène pendant l'insufflation. Ainsi durant cessus d'affinage, on peut insuffler la té de chaux et d'oxygène nécessaire dosée au plus juste. Dans une de nos installations, la chaux pulvérulente est dosée dans une plage de 5 à 1500 kg/min. et l'oxygène, en tant que gaz porteur, de 40 à 260 Nm^3/min. Par ailleurs nous livrons des installations pour le transport pneumatique et le stockage de pulvérulents.

POLYSIUS

POLYSIUS S.A.
3-7 Avenue Paul Doumer
92 - Rueil-Malmaison
Tél. 977.05.03 Télex : 69.329 F
Neubeckum . Ascot . Madrid

527 F

Le conditionnement thermique des boues résiduaires par le procédé Farrer



Innovente-paris / maquette : c. février

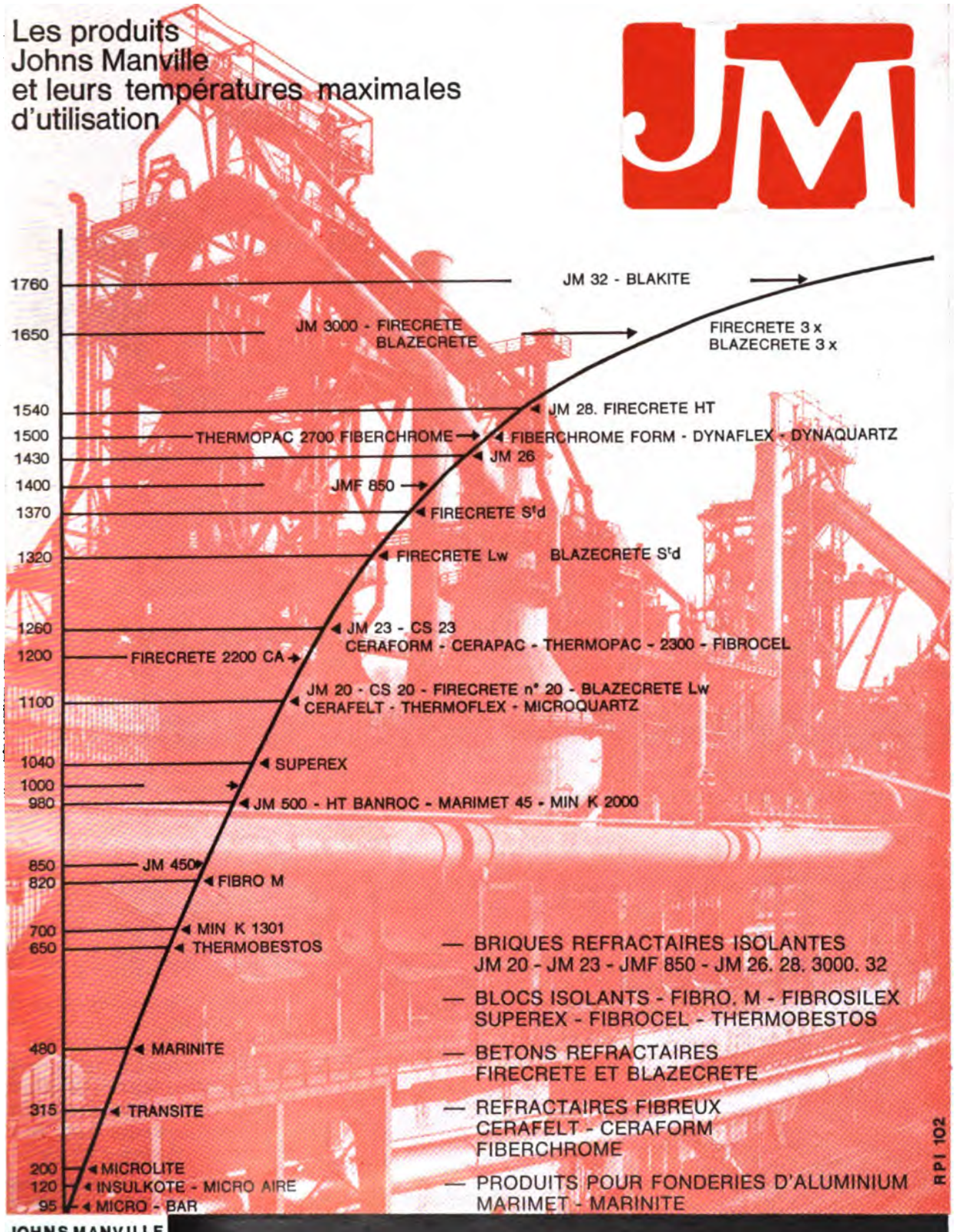
Les boues résultant du traitement des eaux usées doivent être finalement dispersées. Quelle que soit la solution envisagée : utilisation agricole, évacuation à la décharge publique, incinération, il est nécessaire, tant pour satisfaire les hygiénistes que les exploitants, de faire subir aux boues un traitement préalable. Pour ce faire, l'Omnium d'Assainissement apporte une solution : **le conditionnement thermique par le procédé Farrer.**

Ce procédé assure simultanément : la stérilisation des boues et l'amélioration de leur aptitude à la déshydratation. Les boues ainsi conditionnées sont stables, présentent une teneur en matières sèches élevée qui permet leur auto-combustibilité ou leur incinération conjointe avec d'autres résidus urbains.

Le procédé Farrer a déjà été adopté en France par les villes de la Roche-sur-Yon, Le Mans, Brest.

Omnium d'Assainissement, Spécialiste du traitement des eaux usées et des eaux résiduaires / 11 rue Roger Bacon Paris 17
Tél. : 754 27.09 & 64.91

Omnium d'assainissement



JOHNS MANVILLE
JM
PRODUCTS

JOHNS-MANVILLE DE FRANCE

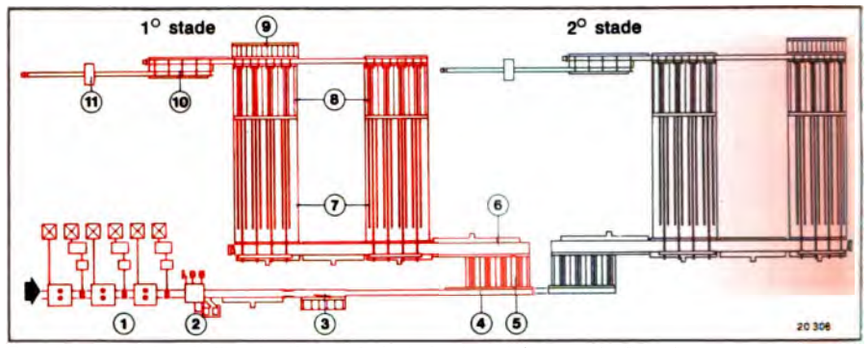
9-11, rue du Colonel de Rochebrune
92 - RUEIL-MALMAISON
Tél. : 967.50.00 ★ 967.84.75
Télex : Johnmanvil 60.089 Rueil

CDU 621.771.22.002.52 W2/1335

Progrès dans les laminoirs à demi-produits:

Nouveau parachèvement de billettes pour traitement soigné des laminés

*Les parachèvements de billettes classiques présentent des inconvénients, en particulier pour les vitesses de laminage élevées et pour les grandes longueurs de coupe: 1° endommagement fréquent des billettes au cours des transports et des regroupements. 2° gauchissement des billettes dû aux manutentions en cours de refroidissement. Les nouveaux parachèvements Schloemann délivrent des billettes impeccables et droites. C'est une des principales raisons pour lesquelles une société canadienne s'est décidée pour un parachèvement Schloemann.**



Parachèvement de billettes derrière un train à demi-produits pour le Canada.

Problème à résoudre

Refroidissement sans gauchissement, empilage, ligaturage et chargement des billettes de □ 63,5 mm à □ 150 mm, de ▭ 150 x 75 mm à ▭ 190 x 115 mm, jusqu'à 12 m de longueur • Elimination des chutes de 7 m de longueur max., ainsi que des billettes de tête et de pied • Refroidissement à l'eau • Classement des billettes par lingots.

Cycle opératoire

Le laminé arrive du train à demi-produits ① à la cisaille à quatre manivelles ②. L'aiguillage ③ élimine les chutes. Les billettes arrivent par les tambours de ripage ④, sur le refroidissoir-retourneur à longerons mobiles ⑤. Sur le train de rouleaux ⑥ les billettes sont regroupées par lingots. Ces nappes sont réparties sur les refroidissoirs-ripeurs ⑦. Les billettes d'un lingot sont décalées pour distinguer et séparer, les billettes de tête et de pied. Les billettes arrivent sur les refroidissoirs-retourneurs, équipés d'un dispositif de refroidissement à l'eau ⑧. A la sortie, on forme les couches d'empilage et évacue dans des poches collectrices ⑨ les billettes de tête et de pied. L'empileur ⑩ rassemble les nappes pour constituer les fardeaux qui arrivent à la machine à ligaturer ⑪. Un pont à griffe enlève les billettes ligaturées.

Solution

■ Cisaille à quatre manivelles avec segment d'enlèvement (breveté), assurant l'évacuation de billettes et de chutes de toutes longueurs.

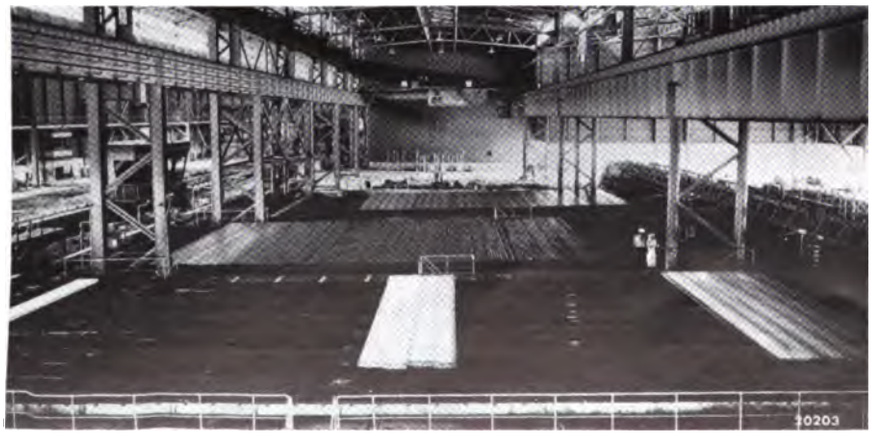
■ Aiguillage à chutes pour dévier automatiquement vers une benne les bouts de 1,5 à 7 m de longueur.

■ Tambours de ripage, qui guident latéralement les billettes à pleine vitesse, sur des rampes de freinage, pour les amener sur le refroidissoir-retourneur. Principaux avantages: cadence élevée et transfert «en douceur» (aucun butoir, aucun choc).

■ Refroidissoirs-retourneurs à longerons mobiles fonctionnant comme refroidissoirs de retournement (◇), ou comme refroidissoirs à longerons mobiles (▭) et, suivant la qualité à l'air ou à l'eau: refroidissement homogène, billettes droites sans endommagement de la surface.

*) Fourniture d'un blooming de 54", capacité 3 millions de tonnes courtes, et d'un train continu à demi-produits.

Parachèvement de billettes d'un train à demi-produits Schloemann au Japon.



SCHLOEMANN AKTIENGESELLSCHAFT
4000 DÜSSELDORF · ALLEMAGNE

AGENT GENERAL: M·A·N-GHH FRANCE • PLACE GEORGES CLEMENCEAU • 92.213 SAINT-CLOUD • TELEPHONE 602-07-75

SCHLOEMANN

METALLURGIE

HEURTEY

Deux fours à longerons de réchauffage de brames.

Capacité unitaire 115 t/h.

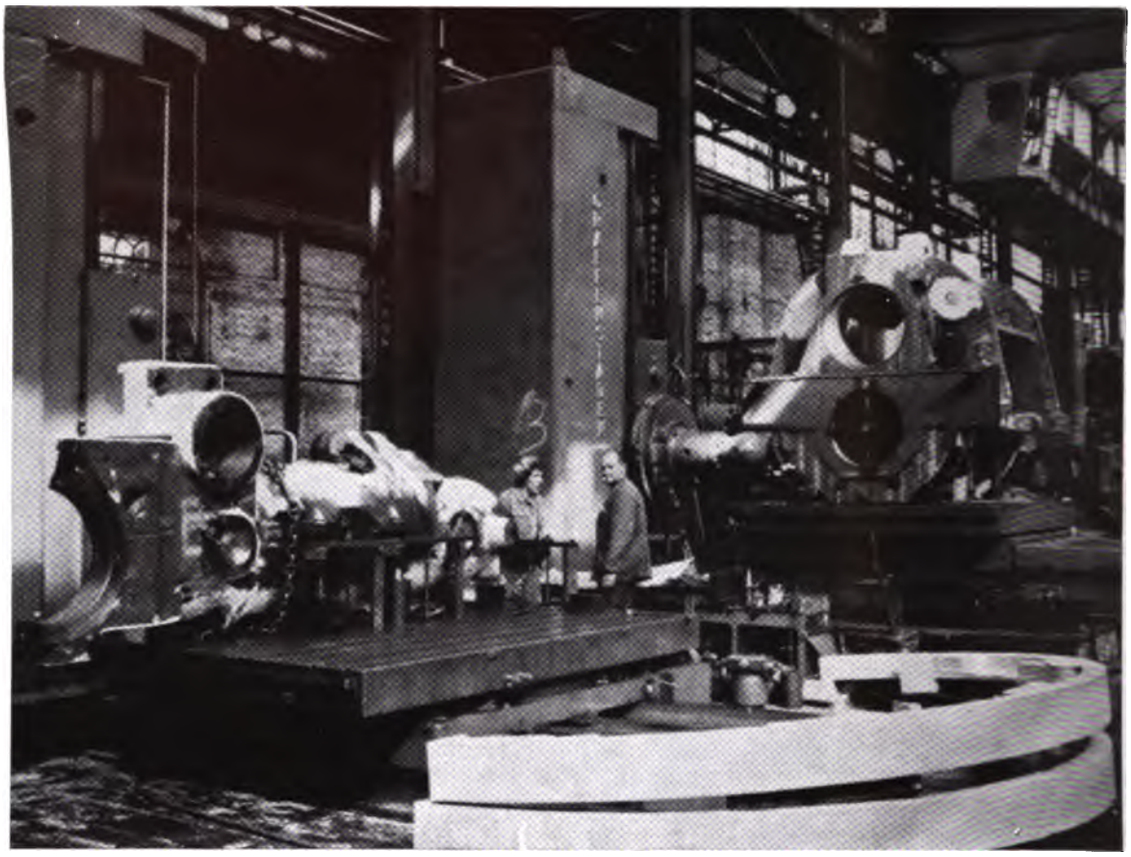
Chauffage au gaz naturel par voûte radiante. Glissières non refroidies. Plus de 60 fours à longerons construits par HEURTEY sont actuellement en service en France et à l'étranger.

URTEY 32, rue Guersant PARIS 17 Téléphone 267-44-00

SSELDORF • LIÈGE • LONDRES • MADRID • MILAN • PARIS • NEW-YORK • VÄSTERÅS • VIENNE

FERRY - CAPITAIN

FONDERIES ET ATELIERS DE CONSTRUCTION



Eléments de bâtis de laminoirs en acier moulé au stade finition. A gauche : cage de train universel. Poids 7 500 kg. A droite : cage à pignons. Poids 22 000 kg.

- **PIÈCES MOULÈES :**

  ACIER : de 50 à 17 000 kg

  en FONTE : de 50 à 28 000 kg

  ACIERS SPECIAUX : de 2 à 17 000 kg

- **BRUTES ou USINÉES** **usinage et taillage jusqu'à ∅ 10 mètres.**

- **BARRES en FONTE** **obtenues par coulée continue**

SIEGE SOCIAL ET USINES A BUSSY — **52300 JOINVILLE** - Tél. : 3.13 - Télex : 84.658

informations économiques

France

ɔs vers un nouveau plan de financement pour assurer le développement rapide de l'usine construite par Solmer

Au cours d'une conférence de presse qui s'est tenue le 20 octobre, M. Jacques Ferry a exposé les résultats de la mission qui lui avait été confiée de rechercher des solutions au problème du financement de l'usine sidérurgique construite par Solmer à Fos.

Les informations données par M. Ferry font apparaitre qu'une étape très importante a été franchie, qui ouvre la porte à un remaniement, dans des conditions satisfaisantes, du plan de financement initial et qui assurera un développement rapide de l'usine de Fos.

Usinor et Sollac, pour le compte de Solmer, sont convenus d'unir leurs efforts pour rechercher avec les intéressés, c'est-à-dire les établissements financiers, les banques, la Puissance Publique, et les organismes de crédit internationaux, les moyens d'aménager le plan de financement initial dans des conditions qui tiennent compte des réalités présentes et qui n'entament pas — ceci est fondamental — leur capacité à poursuivre la réalisation de leurs programmes propres d'investissements dans leurs régions respectives.

Il s'agit donc d'une décision prise en commun d'unir leurs efforts, et s'ils aboutissent — bien entendu, des contacts ont déjà été pris à cet effet et il y a une chance très grande pour qu'ils aboutissent dans un délai très bref — s'effectuera alors une transformation de la société Solmer, dans des conditions qui sont dès à présent déterminées de manière à n'avoir aucune solution de continuité. C'est à cette échéance, que l'on peut prévoir proche, qu'Usinor accepte de participer à la société Solmer et que Sollac accepte cette entrée d'Usinor dans la société existante.

Ceci implique un certain nombre de changements et un certain nombre de décisions de part et d'autre quant à la forme que prendra la société qui, actuellement, est une société anonyme de droit commun. La future société, lorsque le moment sera venu de la constituer, sera une société à directoire, comportant un conseil de surveillance et un directoire ; elle fonctionnera comme une coopérative de production, c'est-à-dire que les actionnaires de cette société seront propriétaires à proportion de la part qu'ils détiendront dans le capital, pour les produits fabriqués par Solmer.

Participation au capital : les deux groupes, Usinor et Sollac, participeront à égalité rigoureuse dans le capital de ladite société. Enfin, et ceci découle de ce principe, il y aura parité absolue dans la conduite des opérations et dans la gestion de la société nouvelle ; cette parité s'exprimera d'abord par l'égalité de représentation au sein du Directoire, de même qu'au sein du Conseil de Surveillance dont les intéressés ont demandé à M. Ferry d'assumer la présidence.

M. Ferry a précisé à ce sujet que, dans son esprit, sa mission consisterait à assurer les arbitrages qui pourraient être nécessaires, de même que des fonctions de représentation vis-à-vis de la Puissance Publique et, peut-être, de certains organismes financiers ou internationaux, sans se laisser entraîner dans des tâches de gestion qui ne peuvent pas être le fait du Président de la Chambre Syndicale de la Sidérurgie française.

S'agissant du Directoire composé de quatre personnes, deux d'un groupe, deux de l'autre, le premier Président de ce Directoire sera M. Dherse, et le Directeur Général, M. Hüe de la Colombe, Directeur Général d'Usinor. Le Conseil de Surveillance comportant en nombre égal des représentants des deux groupes, aura un vice-Président qui sera M. Borgeaud, Président-Directeur Général d'Usinor. Ces quelques indications matérialisent bien le principe d'égalité demandé depuis longtemps dans un esprit de parfaite compréhension entre les deux groupes.

En place, et sous l'autorité du directoire, mais participant à tous ses travaux de la manière la plus intime, M. Durand Rival sera Directeur Général chargé des usines et continuera par conséquent à exercer, avec les mêmes responsabilités et les mêmes pouvoirs, les tâches qu'il exerce actuellement entouré d'une équipe à laquelle M. Ferry a tenu à rendre hommage et dont il n'a jamais été question, d'un côté ou de l'autre, de la remettre en question ou de la modifier.

M. Ferry a précisé, en conclusion :

1. Que l'accord ne préludait en aucune manière à une fusion des deux groupes et à une confusion de leurs intérêts. Il s'agit ni plus ni moins de la gestion en commun d'une usine, pour un objet déterminé, pour assurer un développement plus rapide et plus souhaitable du financement de ladite usine.

2. Indirectement, cette décision et cet accord ne peuvent en aucune manière, bien au contraire, porter atteinte aux programmes d'investissements actuellement en cours de réalisation dans les différentes régions, c'est-à-dire plus particulièrement dans le nord — et pas seulement Dunkerque — mais également dans l'est. Il ne s'agit pas pour Usinor de réduire si peu que ce soit sur la durée du VIe Plan son programme d'investissement actuellement décidé ou engagé, pas plus qu'il ne s'agit pour le Groupe lorrain de réduire les dépenses d'investissements prévues et annoncées dans le cadre du programme de restructuration qui est actuellement en cours d'exécution.

Vis-à-vis du Groupe lorrain, on peut dire d'ores et déjà que la solution intervenue se traduira nécessairement par un certain allègement du poids financier de l'entreprise de Fos ; mais si, instantanément, il peut se traduire également par une dimi-

nution du tonnage dont ce groupe lorrain disposera dans Fos, la compensation doit s'en trouver normalement dans un développement plus rapide de cette usine.

3. Il est clair que le projet d'accord intervenu laisse la porte entièrement ouverte à la venue d'autres partenaires, plus particulièrement, bien sûr, des partenaires étrangers. Il y a même eu déjà, dans le passé, certains contacts à cet effet, toujours d'ailleurs recherchés dans cet esprit de coordination des investissements qui devient une exigence de plus en plus pressante pour la sidérurgie mondiale et pour la sidérurgie européenne ; cette exigence, d'ailleurs, découle également du fait que l'ampleur du programme prévu à Fos et le site lui-même, qui est exceptionnel en Europe, recommandent assez normalement un jour ou l'autre la participation d'étrangers dans cette opération pour autant, bien entendu, que cette participation ne réduise pas à l'excès la participation des groupes français et ne nuise pas à leurs intérêts.

Mais dès à présent, un dispositif est prévu de telle manière qu'il puisse être réaménagé en fonction de l'entrée dans la société d'un ou de partenaires étrangers qui sont souhaités.

Nouvelles brèves

LA PRODUCTION

Production sidérurgique française au mois de septembre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Septembre 1972	9 mois 1972	Septembre 1971	9 mois 1971	Variation 9 mois 1972 / 9 mois 1971
Fonte brute	1 614	14 018	1 596	13 487	+ 3,9 %
Acier brut	2 073	17 706	2 007	16 748	+ 5,7 %

Production d'acier des pays membres de l'Institut International de l'Acier (I.I.S.I.).

(en 1 000 tonnes)

Pays	Août 1972	Août 1971
France	1 598	1 434
Belgique	1 077	1 038
Allemagne	3 872	3 438
Italie	1 400	1 157
Luxembourg	473	456
Pays-Bas	449	407
Total C.E.C.A.	8 869	7 930
Autriche	340	347
Danemark	41	40
Finlande	95	97
Norvège	69	70
Espagne	745	610
Suède	436	429
Grande-Bretagne	1 999	2 006
Canada	980	905
Etats-Unis	9 803	5 238
Argentine	182	170
Brésil	545	534
Chili	57	52
Mexique	363	313
Venezuela	90	39
Australie	627	588
Inde	559	449
Japon	8 190	7 445
Afrique du Sud	456	432
Total	34 446	27 693

LES APPROVISIONNEMENTS

Production de minerai de fer au mois d'août 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Août 1972	8 mois 1972	Août 1971	8 mois 1971	Variation 8 mois 1972 / 8 mois 1971
Minerai de fer marchand	3 365	35 372	3 299	38 403	— 7,9 %

LES TRANSPORTS

Trafic sur la Moselle canalisée au mois d'août 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Août 1972	8 mois 1972	Août 1971	8 mois 1971	Variation 8 mois 1972 / 8 mois 1971
Exportations de France	343	2 446	314	2 452	— 0,2 %
Importations en France	290	2 452	413	3 118	— 21,4 %
Trafic total	633	4 898	727	5 570	— 12,1 %
Trafic effectué par la sidérurgie ..	82,8 %	79,1 %	82,9 %	84,7 %	— 17,9 %

LE MARCHE

La situation du marché.

La situation du marché de l'acier n'a guère évolué depuis le mois dernier.

Elle se caractérise toujours par une demande très ferme sur le marché intérieur français où les prises de commandes ont été en sensible progression, et par la faiblesse de certains autres marchés de la C.E.C.A., en particulier le marché allemand.

Les commandes prises par les entreprises françaises à l'exportation ont continué de croître, plus spécialement sur les pays de la zone franc et sur les pays tiers ; dese commandes importantes ont ainsi été prises en Suisse, en Grande-Bretagne et dans les Pays Scandinaves.

Exportations sidérurgiques françaises au mois d'août 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Août 1972	8 mois 1972	Août 1971	8 mois 1971	Variation 8 mois 1972 / 8 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	27	191	40	203	— 5,9 %
	Aciers courants	189	2 051	220	1 889	+ 8,6 %
	Aciers spéciaux	11	140	8	104	+ 34,6 %
	Total	227	2 382	268	2 196	+ 8,5 %
Zone Franc	Fontes	—	—	—	—	—
	Aciers courants	38	313	30	263	+ 19 %
	Aciers spéciaux	—	1	—	3	— 66,7 %
	Total	38	314	30	266	+ 18 %
Pays tiers	Fontes	8	78	7	56	+ 39,3 %
	Aciers courants	232	2 254	251	2 350	— 4,1 %
	Aciers spéciaux	6	78	8	68	+ 14,7 %
	Total	246	2 410	266	2 474	— 2,6 %
Tous pays	Fontes	35	268	47	259	+ 9,5 %
	Aciers courants	459	4 619	501	4 502	+ 2,6 %
	Aciers spéciaux	17	219	16	175	+ 25,1 %
	Total	511	5 106	564	4 936	+ 3,4 %

Importations sidérurgiques françaises au mois d'août 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Août 1972	8 mois 1972	Août 1971	8 mois 1971	Variation 8 mois 1972 / 8 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	13	237	23	100	+ 137 %
	Aciers courants	368	4 030	411	3 400	+ 18,5 %
	Aciers spéciaux	12	205	11	179	+ 15,1 %
	Total	393	4 472	445	3 679	+ 21,6 %
Pays tiers	Fontes	1	23	2	20	+ 15 %
	Aciers courants	34	386	41	315	+ 22,5 %
	Aciers spéciaux	3	47	3	41	+ 14,6 %
	Total	38	456	46	376	+ 21,3 %
Tous pays	Fontes	14	270	25	120	+ 125 %
	Aciers courants	402	4 416	452	3 716	+ 18,8 %
	Aciers spéciaux	15	252	14	224	+ 12,5 %
	Total	431	4 938	491	4 060	+ 21,6 %

INFORMATIONS COMMERCIALES

Nouvel établissement commercial d'Usinor à l'étranger.

Usinor Vente a récemment ouvert à Bruxelles une agence pour les pays du Benelux.

LES STRUCTURES ET LES INVESTISSEMENTS

L'EVOLUTION DES STRUCTURES

Création de la Société « Aciéries et Laminoirs de Paris » (ALPA).

Les sociétés Usinor et Otto Lazar ont récemment procédé à la création d'une société dénommée ALPA (Aciéries et Laminoirs de Paris) qui construira à Porcheville (Yvelines) une mini-usine sidérurgique pour la fabrication de ronds à béton. Le capital de cette société, qui a été souscrit à concurrence de 65 % par Sovaco, filiale d'Usinor, et de 35 % par Otto Lazar, s'élève à 24 millions de F. Les installations qui ont été commandées et qui entreront en service en 1974 sont prévues dans ce premier stade pour une production d'environ 160 000 t par an.

LES TECHNIQUES

RECHERCHES ET PERFORMANCES TECHNIQUES

Crédits accordés par la C.E.C.A. à la recherche technique.

Dans le secteur de l'acier, les aides C.E.C.A. à la recherche représentent actuellement environ 6 millions d'unités de compte par an. Ces crédits ont donc considérablement augmenté depuis les premières années de l'existence de la C.E.C.A., où ils atteignaient en moyenne quelque 2,9 millions d'unités de compte par an.

COOPERATION TECHNIQUE

Signature par Creusot-Loire d'un important contrat de licence à une firme japonaise.

Dans le domaine métallurgique, Creusot-Loire a conclu un contrat (le premier du genre), concernant l'Invar spécial pour méthaniers, avec un grand producteur japonais d'acier inoxydable, la société Nippon Yakin. Le montant des redevances dépassera deux millions de francs.

Cet Invar spécial, mis au point à Imphy en 1963, est fourni aux chantiers navals sous forme de bandes minces, aux tolérances métallurgiques et dimensionnelles extrêmement serrées. Celles-ci entrent dans la fabrication des membranes des cuves des méthaniers construits selon la technique Gaz-Transport adoptée par de nombreux chantiers navals français et étrangers. Notamment, la société France-Dunkerque, du groupe Schneider, a enregistré récemment des commandes importantes de bateaux pour le trafic Algérie-U.S.A.

Creusot-Loire a déjà effectué des fournitures Invar aux Constructions Navales et Industrielles de la Méditerranée (C.N.I.M.) et aux Chantiers de Kockums, en Suède. Les deux plus gros méthaniers, actuellement en service dans le monde pour le trafic Alaska-Japon, sont à membranes en Invar spécial d'Imphy.

Foire internationale de Metz.

Inaugurée par M. Jean Charbonnel, Ministre du Développement Industriel et Scientifique, la Foire de Metz s'est tenue du 29 septembre au 9 octobre et a reçu pour la première fois une délégation de la Chambre de Commerce et d'Industrie de Moscou qui a séjourné en Lorraine, du 1er au 4 octobre.

LES UTILISATIONS DES PRODUITS SIDERURGIQUES

L'acier dans la construction.

— *Dans l'immense chantier de Roissy-en-France*, s'achève la construction d'un bâtiment unique en Europe : la centrale thermo-frigo-électrique. C'est un bâtiment circulaire comportant, autour d'un noyau central, trois blocs concentriques dont les portiques sont en profilés reconstitués soudés. Au total, 1 250 t d'acier ont été mises en œuvre.

— *L'usine de tôles minces à froid de Mardyck*, à quelques kilomètres de l'aciérie II d'Usinor-Dunkerque, s'étend sur 240 ha. Elle constitue un bloc homogène de onze halles, de 22 m de hauteur, extensibles dans tous les sens. 30 000 t d'acier ont été utilisées pour la seule charpente. La couverture est en tôle d'acier galvanisée et les bardages en tôle d'acier prélaquée.

L'acier dans l'industrie.

— *Dans la nouvelle distillerie Cointreau*, à Angers, toutes les cuves et tuyauteries sont en acier inoxydable, soudé sous argon. Dans le hall de stockage, la macération des fruits s'effectue dans 36 cuves de 117 hectolitres de capacité, également en acier inoxydable.

— *Les combustibles irradiés sortant des réacteurs nucléaires de Marcoule et Chinon* sont transportés à l'usine de traitement du Cap de la Hague dans des conteneurs formés de 3 parties : 1 coque externe en acier doux de 30 mm d'épaisseur, une protection en plomb antimonié de 190 mm d'épaisseur, une coque interne en acier inoxydable de 12 mm d'épaisseur. Le couvercle est constitué par une coque moulée en acier inoxydable de 30 mm d'épaisseur dans laquelle est coulé du plomb.

— *La construction de deux gros aérocondenseurs*, destinés à l'extension de la raffinerie Esso de Fos-sur-Mer, réalisée par Technip, est terminée. Chaque faisceau tubulaire, étudié pour fonctionner à une pression de 45 bar, et une température de 340°C, est constitué de 255 tubes à ailettes et pèse 18 t.

— *Les premières unités d'une série de citernes routières* destinées au transport de gaz carbonique liquide à — 40°C ont été réalisées en acier inoxydable ICL 004 dont les caractéristiques mécaniques permettent un allègement du véhicule.

Pont en acier.

Un pont de 16 km de longueur, à double travée, est actuellement en cours de construction à Rio de Janeiro. C'est une société française qui a livré les poutres de lancement destinées à la mise en place des voussoirs. Ces poutres sont en treillis métallique de 165 m et pèsent, tout équipées, 440 t.

Roues de turbines en acier.

La division Neyrpic d'Alsthom construit actuellement trois roues de turbines destinées à l'usine hydraulique d'Ilha Solteira au Brésil. Ces roues comptent parmi les plus grandes du monde, avec un diamètre extérieur de 7,35 m, une hauteur de 4 m et un poids de 150 t. La réalisation de roues de cette dimension exige une fabrication composite en éléments soudés obtenus séparément par moulage.

INFORMATIONS DIVERSES

Accords dans le domaine nucléaire.

— *Westinghouse est autorisé à participer à la construction en France de deux sociétés nucléaires.*

La société américaine Westinghouse vient de recevoir des Pouvoirs publics l'autorisation de constituer en France un ensemble industriel formé de deux sociétés spécialisées dans la production d'énergie nucléaire, la participation de la firme américaine étant dans tous les cas minoritaire.

La première, dénommée Compagnie Nucléaire Française, sera détenue à 51 % par Creusot-Loire, le reste du capital étant réparti entre Westinghouse (45 %) et Framatome (4 %).

La seconde, dont la raison sociale sera Société de Fabrication de Combustibles Nucléaires, verra son capital réparti entre Péchiney Ugine Kuhlmann (51 %), Westinghouse (35 %), la Compagnie Nucléaire Française (10 %) et Creusot-Loire (4 %).

La Compagnie Nucléaire Française prendra en charge les activités de Framatome et réalisera certains grands composants des centrales nucléaires, tels les cuves et les générateurs, tandis que la seconde société aura comme activité la fabrication de combustibles nucléaires.

— *Accords entre le C.E.A., un consortium industriel français et la Gulf American.*

Trois accords, chacun bipartite, ont été annoncés récemment par l'administrateur général du Commissariat à l'Energie Atomique. Ils concernent trois participants : le C.E.A., la Gulf Energy and Environmental System Company (division de la Gulf Oil) et le Groupement industriel français pour les réacteurs à haute température (G.H.T.R.), lequel regroupe la C.E.M. (Compagnie Electro-Mécanique), chef de file, Creusot-Loire, P.U.K. (Péchiney Ugine Kuhlmann) et la C.E.R.C.A.

Il s'agit d'accord de collaboration pour les connaissances présentes et futures concernant les réacteurs atomiques à haute température du type « Gulf General Atomic ».

Principales dispositions de l'accord conclu entre Lambert, Brufina, Cofinindus, Cofinter et Cobepa.

Le protocole d'accord signé entre Cobepa (Compagnie Belge de Participation Paribas), d'une part, et Cofinindus, Brufina, Lambert et Cofinter d'autre part comporte les dispositions suivantes :

Cobepa échangerait sa participation — dont le montant n'a pas été divulgué — dans Cofinindus contre la moitié du contrôle de Thy-Marcinelle, société sidérurgique belge, la moitié du contrôle des Hauts Fourneaux de la Chiers et 14 000 titres d'Electrobel, ce qui porte à 100 000 titres, soit à 6 % du capital, la participation de Cobepa dans Electrobel.

Cet accord doit encore recevoir, pour être définitif, l'autorisation des autorités compétentes, c'est-à-dire la Commission Bancaire.

Dans Electrobel, la Copeba va se retrouver sur un pied d'égalité avec les autres actionnaires et notamment avec Traction Electricité.

Dans les Hauts Fourneaux de la Chiers, Copeba sera actionnaire au même titre et avec le même pourcentage que Cockerill-Ougrée, le reste du capital étant réparti dans le public.

Dans Thy Marcinelle enfin, Cobepa assurera une gestion paritaire avec la famille De Launoit.

Une partie importante du capital de Thy Marcinelle est également répartie dans le public.

Etranger

Les investissements de la sidérurgie belge

Dans son chapitre consacré aux investissements, le rapport 1971 du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges rappelle qu'en 1970, les investissements des entreprises belges avaient atteint le chiffre de F.B. 11,7 milliards. Ce niveau, exceptionnellement élevé, était dû à la réalisation simultanée dans diverses entreprises de plusieurs projets importants, ainsi que pour une partie non négligeable à la hausse du coût des travaux et des biens d'équipement. Sans qu'un élément nouveau soit intervenu à ce dernier point de vue en 1971, le montant des investissements sidérurgiques est revenu à F.B. 9,4 milliards.

La réduction est due essentiellement au stade des aciéries et des laminoirs, les investissements conservant leur importance, voire se développant dans les secteurs primaires de production, cokeries, préparation des charges et hauts fourneaux, comme le précise le tableau ci-après :

En millions de F.B.

	1970	1971
Cokeries	755	1 619
Préparation des charges	679	920
Hauts fourneaux	979	955
Aciéries	1 980	777
Laminoirs	6 716	4 336
Divers	542	754
Total	11 651	9 361

Les travaux les plus caractéristiques à signaler pour 1971 sont les suivants :

— construction d'une cokerie entièrement nouvelle à Sidmar ;

— construction de deux bandes d'agglomération à Hainaut-Sambre et à Sidmar ;

— construction de deux nouveaux hauts fourneaux aux usines Boël et aux Forges de Clabec ;

— installation d'une deuxième cornue LD-Kaldo à Cockerill-Marchienne et transformation Thomas-O.B.M. aux Forges de Thy-Marcinelle et Monceau et à Cockerill-Marchienne ;

— nouveau train à profilés et aciers marchands à Marchienne ;

— nouveau train à ronds et plats marchands à Marcinelle ;

— renforcement des trains à bandes de Cockerill et de Sidmar ;

— achèvement de deux trains tandem à froid dans ces mêmes usines ;

— installation de 4 cages continues pour tôles fortes et moyennes à Clabecq ;

— ligne de galvanisation supplémentaire à Phenix Works.

En ce qui concerne le programme des prochaines années, le premier point concerne l'achèvement des travaux actuellement en cours. Ce premier élément peut être évalué à F.B. 8,5 milliards à répartir principalement sur les deux années 1972 et 1973, soit un rythme annuel d'environ F.B. 4 millliards. On voit qu'on peut s'attendre à une certaine diminution du montant des dépenses par rapport aux chiffres de 1971, cette évolution étant évidemment liée à la situation du marché de l'acier.

Malgré les difficultés de la conjoncture, les nécessités d'une adaptation et d'une modernisation des installations restent cependant tout aussi impératives pour sauvegarder la position compétitive des entreprises. Un certain nombre de projets auxquels il a déjà fait allusion figurent dans ces programmes de modernisation.

C'est ainsi que dans le secteur des hauts fourneaux, la construction de plusieurs appareils de grande dimension est à l'étude. Une partie importante de ces capacités de production nouvelles est destinée à remplacer les appareils anciens, de faible dimension, et dont les caractéristiques ne correspondent plus aux techniques actuelles.

Dans le secteur des aciéries, divers travaux sont envisagés ; notamment le développement d'aciéries LD existantes et l'extension du procédé de soufflage par le fond à l'oxygène pur dans plusieurs aciéries Thomas.

Un développement nouveau important, qui jusqu'ici n'avait pas encore reçu d'application dans les usines intégrées belges, est la coulée continue. L'utilisation de cette technique, qui est à l'étude de divers côtés, qu'il s'agisse de produit plats ou de produits longs, débutera l'année prochaine dans une usine liégeoise.

Enfin, en laminoirs, diverses adaptations ou constructions nouvelles sont envisagées, en produits plats, en produits longs ainsi qu'en fil machine.

En ce qui concerne le financement des investissements, il n'y a guère de modifications à signaler dans le montant de l'endettement à terme des entreprises ; celui-ci s'est accru d'un peu plus de F.B. 0,5 milliard seulement et représente ainsi environ 40 % du chiffre d'affaires. La situation de la sidérurgie belge est à ce point de vue voisine de la moyenne de la Communauté.

Les investissements ayant par ailleurs été supérieurs aux amortissements, le rapport entre l'endettement à terme et le total des immobilisations nettes et participations à quelque peu diminué.

En fait, si malgré le niveau relativement faible des amortissements, le financement des investissements a pu être assuré en 1971, sans augmentation de l'endettement à terme, c'est grâce à des moyens tels que l'utilisation de ressources antérieurement dégagées.

A long terme, l'exécution du programme de modernisation requiert une importante augmentation des ressources propres des entreprises. C'est là un objectif majeur qu'il faudra s'efforcer d'atteindre tant par un freinage de la hausse des coûts de production que par le relèvement des prix de vente.

Le rôle de la British Steel Corporation (International) Ltd

La revue « British Steel » publie un article de M. Michael Edwards, directeur général de la British Steel Corporation (International) Ltd, filiale de la BSC, chargée de l'administration des intérêts de la BSC à l'étranger, sur les activités de ce nouvel organisme.

Au moment de la réorganisation de la British Steel Corporation en divisions par produits, en mars 1970, l'administration des investissements de la BSC à l'étranger avait été centralisée dans un « département des intérêts étrangers », maintenant transformé en une société indépendante, la British Steel Corporation (International) Limited. Le président de ce nouvel organisme est M. Mark Littman (vice-président de la BSC) et le conseil d'administration comprend 4 membres de la BSC.

La société a pour objectif :

— de gérer toutes les participations détenues par la BSC à l'étranger ;

— d'étudier tous les projets d'investissements nouveaux à l'étranger envisagés par la BSC, y compris les projets de participation à des investissements effectués conjointement avec d'autres sociétés ;

— de constituer un organe de liaison important pour tout ce qui relève de l'assistance technique, de la gestion et autres services assurés par la BSC dans des sociétés étrangères.

Les entreprises dans lesquelles la BSC a investi des capitaux à l'étranger sont de deux sortes :

— les entreprises qui servent directement les intérêts de la BSC,, c'est-à-dire des entreprises pour l'approvisionnement en matières premières de la BSC, des entreprises de transformation ou des sociétés commerciales ;

— les entreprises qui n'exercent pas des activités en rapport direct avec celles de la BSC britannique mais contribuent néanmoins au bon renom de la BSC par des activités indépendantes dans des entreprises consommatrices d'acier.

Parmi les entreprises relevant de la première catégorie, de beaucoup la moins importante, il faut citer en premier lieu, dans le secteur de l'approvisionnement en matières premières, une participation de 19 % dans les mines de fer de Mauritanie (Miferma) qui couvrent environ 9 % des importations de minerai de fer de la BSC et 6 % de ses besoins totaux en minerai ; on peut également citer, dans le secteur des industries utilisatrices d'acier, deux sociétés du Ghana et du Nigéria (établies par la Dorman Long au début des années 1950) qui utilisent l'acier fourni par la division produits lourds/produits longs de la BSC pour la construction de ponts et de bâtiments dans ces pays ; il faut encore citer une dizaine de sociétés commerciales qui traitent environ 12 % (en valeur) du montant total des exportations de la BSC.

Plus des 3/4 des participations de la BSC à l'étranger concernent des entreprises qui se consacrent à des activités de parachèvement, de stockage et de distribution de produits variés tels que tubes et tuyaux, produits galvanisés, produits de la construction mécanique, tréfilés, matériel roulant, outils de coupe, etc., à l'exception de 2 mini-usines engagées dans le secteur de la production d'acier proprement dite. Toutes ces entreprises sont situées pour la plupart dans des pays membres ou anciens membres du Commonwealth : Australie, Nouvelle-Zélande, Canada, Inde, Ghana, Nigéria, Union sud-africaine ou dans des pays avec lesquels la Grande-Bretagne a établi des accords commerciaux comme l'Argentine.

Même lorsque la BSC détient des participations majoritaires dans ces entreprises, elle laisse à chacune d'entre elles son autonomie complète au point de vue gestion et direction.

L'activité de la BSC (International) porte également sur l'octroi de brevets à des entreprises étrangères indépendantes et sur la formation éventuelle d'un personnel local. A titre d'exemple, on peut citer l'intervention de la société pour la construction et la mise en route de la nouvelle usine sidérurgique intégrée de Las Truchas, au Mexique, pour la construction d'une usine à tubes en Iran et pour la construction d'un train à bandes à chaud en Finlande. Dans ces trois cas, la BSC assure également la formation du personnel technique.

En ce qui concerne l'avenir, la BSC, comme tous les grands producteurs mondiaux, tendra à devenir une entreprise de plus en plus internationale, à la recherche de sources d'approvisionnement en matières premières et de débouchés pour ses produits et son know-how dans le monde entier. Sa structure actuelle, résultat de l'héritage du passé, subira certainement des modifications, et la BSC sera sans doute amenée à suivre une nouvelle politique d'investissements à l'étranger, sans pour autant négliger sa politique d'expansion en Grande-Bretagne même. Les deux catégories d'investissements ne sont pas opposées, mais plutôt complémentaires. Si la BSC veut maintenir, moderniser et développer sa capacité de production en Grande-Bretagne, il lui faudra importer des tonnages accrus de minerai de fer et d'autres matières premières et, au minimum, conserver la place importante qu'elle occupe actuellement sur le marché international. Sa participation à des réalisations à l'étranger soigneusement sélectionnées ne pourra que servir finalement son intérêt bien compris.

La société autrichienne Alpine Montan en 1971

En dépit de la situation défavorable du marché international de l'acier, l'Alpine Montan a pu accroître sa production et son chiffre d'affaires en 1971, ce qui s'explique par le fait que la société est relativement peu dépendante de l'exportation et que la conjoncture est restée satisfaisante sur le marché intérieur autrichien.

Production de l'Alpine Montan en 1970 et 1971 (en tonnes)

	1970	1971	
Minerai de fer	3 996 700	4 170 750	(+ 4,35 %)
Fonte (Donawitz)	882 531	962 484	(+ 9,06 %)
Acier brut :			
Donawitz : LD	792 827	818 009	(+ 3,16 %)
Martin	338 309	345 009	(+ 1,98 %)
Electrique	81 172	63 517	(— 21,75 %)
Total	1 212 408	1 226 535	(+ 1,17 %)
Traisen : Electrique	8 572	8 733	(+ 1,88 %)
Grand total	1 220 980	1 235 268	(+ 1,17 %)
Produits laminés finis :			
Donawitz	762 349	794 027	(+ 4,16 %)
Kindberg (trains à chaud)	160 299	157 719	(— 1,61 %)
Total	922 648	951 746	(+ 3,15 %)
Feuillards à froid :			
Kindberg et Krieglach	31 054	28 731	(— 7,48 %)
Tubes :			
Krieglach	48 358	59 345	(+ 22,72 %)
Moulages d'acier :			
Traisen	4 157	4 379	(+ 5,34 %)

Le chiffre d'affaires brut du groupe Alpine (non compris les filiales à l'étranger) s'est établi à 9,23 milliards de schillings en 1971, passant pour la première fois le cap des 9 milliards de schillings et marquant une augmentation de 7,5 % (643 millions de schillings) par rapport à 1970. La part de l'exportation a été de 18 % (contre 21 % en 1970).

La société-mère Österreichische Alpine Montangesellschaft a elle-même réalisé un chiffre d'affaires brut de 5,1 milliards de schillings (+ 6,3 %), dont 3,95 milliards de schillings sur le marché intérieur (+ 12 %) et 1,14 milliard de schillings à l'exportation (— 10 %).

En valeur, les ventes au marché intérieur ont augmenté de 14,7 % pour les produits laminés en acier ordinaire et de 23,2 % pour les produits finaux. A l'exportation par contre, la valeur des ventes de laminés en acier ordinaire a diminué de 17,7 %. En ce qui concerne les aciers spéciaux, la valeur des ventes a diminué de 13 % sur le marché intérieur et de 11 % à l'exportation (le groupe Alpine exporte environ 42 % de sa production d'aciers spéciaux).

Au cours des trois dernières années, les exportations ont été de plus en plus orientées vers les pays de la Communauté Européenne et de l'A.E.L.E.

Répartition du chiffre d'affaires à l'exportation par zones de destination

	1969	1970	1971
A.E.L.E.	31,0 %	35,2 %	40,5 %
C.E.E. (six pays)	26,6 %	27,4 %	30,5 %
Comecon	32,0 %	25,6 %	17,2 %
Autres pays	10,4 %	11,8 %	11,8 %
	100 %	100 %	100 %

Les investissements de l'année 1971 ont porté seulement sur 392,2 millions de schillings (contre 466,7 millions de schillings en 1970), se répartissant comme suit :

Mines de fer	100,4 millions de schillings (25,6 %)
Secteur sidérurgique	201,1 millions de schillings (51,3 %)
Construction mécanique (Zeltweg)	44,0 millions de schillings (11,2 %)
Secteur administratif	46,7 millions de schillings (11,9 %)

Sur le total des investissements, 365 millions de schillings ont été convertis par les amortissements normaux, accélérés et spéciaux.

A l'usine de Donawitz, une nouvelle agglomération (surface de grille : 120 m^2) est en construction ; une nouvelle installation de production d'oxygène (capacité : 6 000 Nm^3) a été mise en place et un mélangeur de 1 500 t a été commandé.

Les investissements dans le secteur administratif concernent principalement l'achat de bureaux à Vienne (Friedrich-Strasse 4) et la construction d'un centre de recherche à Leoben.

En raison de la diminution des recettes à l'exportation et de l'augmentation des coûts, le bénéfice disponible a été seulement de 79 millions de schillings en 1971, contre 125 millions de schillings en 1970. Ce bénéfice permet encore la répartition d'un dividende inchangé de 4 % et d'une bonification de 3 % (contre 8 % l'année précédente), soit une répartition totale de 7 % pour l'exercice 1971 (contre 12 % pour l'exercice 1970). Au cours de l'année 1971, le capital de la société a été porté de 1 à 1,1 milliard de schillings.

Part de la British Independent Steel Producers Association dans la sidérurgie britannique

Une brochure de la British Independent Steel Producers Association (secteur privé) indique que la production d'acier brut des 102 sociétés membres de cet organisme s'est élevée à 2 351 400 t en 1971, dont 1 702 700 t d'aciers non alliés (8 % de la production britannique) et 648 700 t d'aciers alliés (38 % de la production britannique).

Les expéditions des entreprises membres de la BISPA ont été les suivantes :

	En 1 000 t	Part dans le total des expéditions britanniques
Aciers non alliés		
Blooms, billettes, brames	33,2	8 %
Tôles fortes	298,4	11 %
Autres produits lourds	274,9	12 %
Barres et fil machine en couronnes	621,7	35 %
Profilés légers et barres à chaud	1 023,0	49 %
Barres étirées	408,1	91 %
Feuillards à chaud	193,9	39 %
Feuillards à froid	365,9	77 %
Tôles minces	9,5	—
Tubes	330,4	22 %
Roues, essieux, bandages	8,6	12 %
Pièces forgées	56,2	86 %
Aciers à outils et à aimants	4,9	94 %
Aciers alliés		
Blooms, billettes, brames	105,6	28 %
Tôles fortes	12,7	24 %
Barres et fil machine en couronnes	16,8	35 %
Profilés et barres à chaud	180,3	82 %
Barres étirées	54,1	71 %
Feuillards à chaud et à froid	10,7	66 %
Tôles minces	11,3	34 %
Tubes	86,7	61 %
Roues, essieux, bandages	3,7	43 %
Pièces de forge	78,5	86 %
Aciers rapides, aciers à outils et à aimants	29,1	88 %

ı production latino-américaine de fer-blanc en 1971

La production latino-américaine de fer-blanc a fléchi de moins de 1 % en 1971, pour s'établir à 481 297 t, à savoir :

(en tonnes)

	1969	1970	1971
Argentine (Somisa)	1 818	17 932	32 111
Brésil (Cia Siderurgica Nacional)	228 964	234 196	254 564
Colombie (Siderurgica de Medellin)	21 635	25 145	8 242
Chili (Cia Acero del Pacifico)	30 771	36 704	34 923
Mexique	166 140	170 941	151 457
(Altos Hornos de Mexico)	(146 940)	(152 941)	(131 757)
(Hojalata y Lamina)	(19 200)	(18 000)	(19 700)
Total	449 328	484 918	481 297

On remarque qu'en 1971, la production a diminué en Colombie, au Chili et au Mexique, mais qu'elle a par contre augmenté à nouveau en Argentine et au Brésil.

En fait, la Somisa (Argentine) dispose déjà d'une capacité de 110 000 t/an de fer-blanc, capacité qui n'a été que faiblement utilisée jusqu'à présent. La société se propose toutefois de porter sa production à 80 000 t/an au cours de la période juillet 1972-juin 1973, puis à 100 000 t/an à partir de juillet 1973, ceci par des achats accrus de fer-noir à la Propulsora Siderurgica.

D'autre part, deux nouvelles lignes d'étamage électrolytique sont prévues en Amérique Latine, l'une au Venezuela (devant démarrer en 1973), l'autre au Pérou (devant démarrer en 1974).

Les projets de développement de la sidérurgie indienne

Capacité actuelle et taux de marche.

La capacité de la sidérurgie indienne est officiellement évaluée à 9,2 millions de t d'acier brut, se répartissant comme suit :

— secteur public .. .. 5,9 millions de t

— secteur privé .. .. 3,3 millions de t

En fait, cette quantité n'a pas été pleinement utilisée ces dernières années, ainsi qu'il ressort d'un tableau établi par le Ministère indien de la Sidérurgie, à savoir :

(en 1 000 tonnes)

	Capacité	1969-1970		1970-1971	
		Production	Taux de marche	Production	Taux de marche
Secteur public					
Bhilaï	2 500	1 875	75 %	1 919	77 %
Rourkela	1 800	1 103	61 %	1 006	56 %
Durgapour	1 600	818	51 %	693	43 %
Secteur privé					
Tata Steel	2 000	1 708	85 %	1 697	85 %
Indian Iron and Steel	1 000	699	70 %	617	62 %

En 1971-1972, le taux de marche est encore resté faible aux usines de Durgapour et d'Indian Iron and Steel, tandis que l'usine de Rourkela s'est ressentie d'une accident survenu à la toiture de l'aciérie (ce qui a réduit ses possibilité des production d'environ 50 % pendant la plus grande partie de 1971).

Il faut noter qu'au cours des 2 dernières années, le gouvernement indien a donné son accord à une vingtaine de projets de mini-usines pour la production de billettes. Il s'agit en général de très petites usines, d'une capacité de l'ordre de 50 000 t par an. Néanmoins, si tous ces projets ont été réalisés ou sont en voie de réalisation, la capacité indienne de production d'acier brut pourrait être prochainement de l'ordre de 10 millions de t par an.

Cependant, l'objectif de production pour l'exercice 1972-73 n'est encore que de 7,2 millions de tonnes d'acier brut et il n'est pas certain qu'il puisse être réalisé.

Programme d'expansion.

En dépit du faible taux de marchè des usines indiennes, le Conseil National Indien de Recherche Appliquée estime que l'économie indienne pourra absorber 15 millions de t/an de produits finis en 1980, et le gouvernement indien a établi un programme tendant à doubler la capacité de production dans un délai d'une dizaine d'années. Ce programme comprend :

— l'achèvement de la construction de l'usine de Bokaro (réalisée avec l'aide soviétique) ; la construction de cette usine a déjà subi de nombreux retards et l'achèvement de la première tranche de travaux (devant assurer une capacité de 1,7 million de tonnes d'acier brut) n'est actuellement prévu que pour le milieu de 1973.

A ce stade, l'usine devrait comprendre :

- 1 cokerie (2,4 millions de t/an) et 2 agglomérations ;
- 3 hauts fourneaux de 2 000 m³ (2,7 millions de t/an), dont le premier a été mis à feu le 3 octobre 1972 ;
- 4 creusets LD de 100 t (1,7 million de t/an) ;
- 1 slabbing de 1 250 mm, 1 train à chaud de 2 000 mm et 1 train à froid de 2 000 mm.

Le gouvernement indien souhaiterait que la capacité de Bokaro soit progressivement portée à 2,5 millions de tonnes en 1974, 4 millions de tonnes en 1976 et 5,5 millions de tonnes à la fin de la décennie.

— une augmentation de la capacité de Bhilaï, qui serait portée de 2,5 à 4 millions de tonnes d'acier brut vers 1976 ; dans le cadre de ce programme, un 6e haut fourneau (1 719 m³) a été mis à feu le 31 juillet 1971 ; le programme comporte encore la construction d'une aciérie LD et d'une coulée continue pour billettes ;

— la construction de 2 nouvelles usines dans le sud de l'Inde à Visakhapatnam (Andra Pradesh) et Hospet (Mysore), chacune d'une capacité initiale de 2 millions de tonnes.

Si tous ces projets étaient réalisés comme prévu ci-dessus, la capacité d'acier brut de l'Inde devrait donc dépasser 20 millions de tonnes au début des années 1980. Il faut noter que ce chiffre n'inclut pas l'expansion de l'usine de Durgapour (qui, selon les déclarations du Ministère de la Sidérurgie, dervait atteindre une capacité finale de 3,4 millions de tonnes), ni un projet récent de la Tata Iron and Steel (qui souhaiterait porter sa capacité de 2 à 4 millions de tonnes par la construction d'une usine nouvelle, mais n'a pas encore reçu l'autorisation du gouvernement indien pour ce projet).

Le principal problème reste le coût élevé des investissements requis. Le gouvernement indien souhaite que la construction des deux usines nouvelles prévues dans le Sud soit entièrement assurée par des experts indiens et que l'équipement soit également fourni par l'Heavy Engineering Corporation indienne. Sur ces bases, les investissements sont évalués à 7 500 millions de roupies pour chacune des deux usines, soit un coût par tonne de capacité considéré comme très élevé.

Nouvelles brèves

Prêt international pour la construction d'une aciérie brésilienne.

La Société Financière Internationale (S.F.I.) a annoncé qu'elle allait participer avec la Société Financière Européenne (S.F.E.) au financement d'une aciérie au Brésil.

Il s'agit de l'aciérie actuellement en cours de construction près de Santa Cruz, à 70 km de Rio de Janeiro, par la Companhia Siderurgica de Guanabara (Cosigua). Le démarrage de la production devrait avoir lieu en décembre 1972.

Le promoteur brésilien du projet est le groupe Gerdau ; Thyssen participe également à la construction de cette aciérie.

La S.F.I. contribue au financement du projet avec un prêt de 7 millions de dollars et une participation de 2 millions. Un prêt de 6 850 000 dollars sera octroyé par la Banque de la S.F.E. Le groupe Gerdau et Thyssen contribue avec une participation de 16 644 000 dollars. Les autres actionnaires de Cosigua apporteront 1 365 000 dollars.

Des crédits de l'Eximbank et d'autres banques d'Allemagne, des Etats-Unis et de Suisse compléteront le financement pour 5 904 000 dollars. La Compagnie elle-même fournira 3 351 000 dollars.

Mise au point par Esso et Thyssen d'une nouvelle technique d'injection de fuel dans les hauts fourneaux.

Une nouvelle technique mise au point conjointement par Esso et Thyssen permet d'augmenter considérablement le taux d'injection de fuel dans les hauts fourneaux.

Des taux allant jusqu'à 150 kg de fuel oil par tonne de fonte ont été injectés avec succès dans des hauts fourneaux avec une diminution correspondante de la mise au mille du coke.

Siderurgica Montirone va installer une nouvelle mini-aciérie à Brescia.

Une mini-aciérie essentiellement constituée par un four électrique de 50 t et une machine de coulée continue à quatre lignes produisant des billettes de 100 × 100 mm va être prochainemeent installée à Brescia. Le four électrique sera de construction italienne et la machine de coulée continue sera fournie par Concast S.A., de Zurich. Cette nouvelle installation devrait démarrer avant la fin de 1973.

Construction d'une cokerie expérimentale aux Etats-Unis.

Trois entreprises sidérurgiques américaines et un producteur de charbon vont construire conjointement une cokerie expérimentale, suivant un nouveau procédé permettant la réduction de la pollution et une plus grande souplesse dans l'utilisation des charbons.

Les quatre sociétés « Bethlehem Steel », « National Steel », « Republic Steel » et « Consolidation Coal » investiront entre 25 et 30 millions de dollars dans l'usine, en plus des 7 millions de dollars qu'elles ont déjà consacrés aux recherches. L'usine pilote, construite dans une des aciéries de Bethlehem, sera achevée en 1974 et les essais en haut fourneau devraient commencer en 1975.

La construction sera assurée par les sociétés américaines « Dravo » et allemande « Lurgi Mineröl Technik » qui assureront ensuite la vente du produit dans le monde. L'usine aura une capacité de 500 t/j.

mesure économétrique de la portée moyenne des stocks de produits sidérurgiques chez les négociants et les utilisateurs

A. Signora
Chef de Division Adjoint à la Direction des Etudes Economiques de la Chambre Syndicale de la Sidérurgie Française

L'évolution de la consommation réelle de produits sidérurgiques, c'est-à-dire des quantités effectivement mises en œuvre par les utilisateurs, n'est pas régulière dans le temps. Elle suit les fluctuations de la conjoncture chez les utilisateurs qui est un reflet de la conjoncture économique générale, et en particulier celle des investissements. En effet, la plus grande partie des industries consommatrices d'acier produisent des biens d'équipement.

Au niveau de la consommation apparente, qui est la somme des approvisionnements du marché de provenance nationale ou extérieure (importations), le cycle conjoncturel qui vient d'être évoqué est amplifié et, de façon considérable, par les variations des stocks chez les négociants et les utilisateurs.

Or, l'information statistique ou même de nature qualitative est insuffisante dans ce domaine.

En France, on connaît statistiquement le montant des stocks chez les négociants de façon assez complète au niveau du trimestre, avec une « couverture » moins grande au niveau du mois.

En revanche, on ne sait pratiquement rien du niveau des stocks chez l'ensemble des utilisateurs. A partir d'une enquête effectuée chaque année sur un échantillon d'entreprises consommatrices d'acier, on arrive à estimer la variation annuelle des stocks, que l'on parvient à trimestrialiser au moyen d'un modèle simple utilisant un indice synthétique de l'activité des utilisateurs (*).

Ces informations ne permettent cependant pas de porter un jugement sur le niveau des stocks chez les utilisateurs (élevé, normal, bas), mais simplement de constater leur variation.

Le but de la présente étude est d'estimer, sur une période donnée, un niveau moyen des stocks en fonction de la consommation réelle, puis d'examiner dans quelle mesure ce niveau moyen peut être considéré comme « normal ».

Si le niveau « normal » des stocks $\dot{S}$ s'exprime en fonction de la consommation réelle CR par un coefficient de proportionnalité p (portée « normale » des stocks)

$$\dot{S} = p \, . \, CR$$

(*) Pour une description des méthodes utilisées, voir « la prévision de la demande des produits sidérurgiques ». *Rev. Métallurg.*, 67, n° 6 (juin 1970), 553-564 ; n° 7/8 (juillet-août 1970), 674-689.

On pourra calculer à partir des valeurs que prend CR dans le temps, la variation « normale » des stocks $\Delta \dot{S}$ et la comparer à la variation observée ΔS.

La différence $\Delta S - \Delta \dot{S}$ permettra d'estimer la constitution (positive ou négative) de stocks « excédentaires » ou « additionnels ».

La notion de stocks normaux (ou stock outil) et de stocks additionnels.

Cette notion n'est pas nouvelle et est en particulier utilisée depuis de nombreuses années par les services des Communautés Européennes pour leurs programmes prévisionnels acier (*).

Pour assurer une gestion sans heurts de sa production, une usine consommant de l'acier doit garder, dans la plupart des cas, une certaine quantité de produits sidérurgiques en stocks ou « sur parc ». Cette quantité est fonction de la nature et de l'importance de la production de l'usine et des conditions d'approvisionnement en acier (en particulier les délais de livraisons moyens des usines sidérurgiques). C'est cette quantité, que l'on suppose proportionnelle au niveau de la consommation réelle, qui est appelée ici « stocks normaux ». Il est évident que cette quantité varie selon les industries, leur localisation, la nature de leur approvisionnement (directement des producteurs ou par l'intermédiaire du négoce). On suppose cependant que le coefficient de proportionnalité, s'il varie selon les usines utilisatrices, reste constant dans le temps. Ceci en une première étape et il sera temps de critiquer cette hypothèse par la suite.

A côté de ces stocks « normaux » peuvent exister chez l'utilisateur des stocks « additionnels ». Cette notion prend un caractère concret lorsque ces stocks additionnels sont des stocks excédentaires ; ils peuvent alors correspondre par exemple à des résidus non utilisés au cours d'opérations précédentes ou encore à des stocks constitués en prévision d'une augmentation des prix de l'acier. Mais les stocks « additionnels » peuvent être négatifs sur une courte période par exemple lorsque l'utilisateur a mal anticipé ses besoins ou qu'il a mal tenu compte des délais de livraisons des producteurs d'acier.

Il est évident que si une constitution positive des stocks additionnels peut être durable pendant un certain temps, à l'inverse une constitution négative ne peut durer. Il est non moins évident qu'au cours d'une période donnée de temps entre deux observations, la plus ou moins bonne adaptation des approvisionnements aux besoins réels se traduira par des constitutions de stocks additionnels tantôt positifs, tantôt négatifs, ceci d'autant plus si les observations sont rapprochées.

(*) KUTSCHER (H.) : Les programmes prévisionnels acier. *Stahl und Eisen*, n° 12 (10 juin 1971).

Le problème revient alors à trouver une valeur pour p telle que si l'on introduit une valeur donnée de a dans le premier membre de l'équation [4], on obtienne par régression linéaire sur les logarithmes de

$$\frac{CA_t}{1 + p - pm_t^a}$$

et de lu_t la même valeur au second membre. ε_t, écart entre la valeur observée de

$$\frac{CA_t}{1 + p - pm_t^a}$$

et celle obtenue par la régression, sera assimilé à la constitution de stocks additionnels ε_t.

Résultats obtenus.

Les paramètres de la relation entre la consommation réelle et l'indice d'activité des utilisateurs

$$CR_t = K\ lu_t^a$$

ont été calculés pour la France à partir de valeurs de CR_t obtenues en retranchant de la consommation apparente les variations de stocks chez les négociants (connues statistiquement) et chez les utilisateurs (estimées par sondage) sur la période 1960-1971.

La régression sur les logarithmes de CR_t et lu_t a donné aux paramètres les valeurs suivantes :

$$K = 160{,}77$$

$$a = 0{,}93764$$

Ceci constitue une contrainte pour la recherche ; en effet, il faudra trouver la portée de stocks p non seulement telle que (condition 1) les valeurs de a introduites au premier membre de [4] et obtenues au second membre soient identiques, mais telle (condition 2) qu'elles soient voisines de 0,93764.

On a systématiquement introduit dans la variable

$$\frac{CA_t}{1 + p - pm_t^a}$$

des valeurs de a égales à 0,91 et 0,97 et observé les valeurs de a obtenues au second membre pour diverses portées des stocks.

Ces résultats ont fait l'objet d'une représentation graphique sur la *figure 1* où l'on a porté en abscisse les élasticités introduites au premier membre de l'équation [4] et en ordonnée les élasticités résultant du calcul de régression (a du second membre) pour chaque valeur de p considérée.

Valeurs de a obtenues au second membre de [4]

Portée des stocks en mois de CR	Valeurs de a introduites au premier membre	
	0,91	0,97
6 mois	0,93140	0,93010
5 mois	0,93527	0,93402
4,25 mois	0,93815	0,93714
4 mois	0,93902	0,93816
3,75 mois	0,94003	0,93912
3 mois	0,94294	0,94228

On définit ainsi dans l'intervalle (0,91 ; 0,97) une famille de courbes correspondant à chaque portée de stocks et dont les intersections L, M, N, P, Q, R avec la droite d'équation y = x constituent autant de solutions satisfaisant à la condition 1.

On voit par simple lecture que la portée des stocks correspondant le mieux à la condition 2 est de 4 mois 1/4 pour lequel le calcul donné à l'élasticité a la valeur : 0,93767 contre 0,93764 à obtenir.

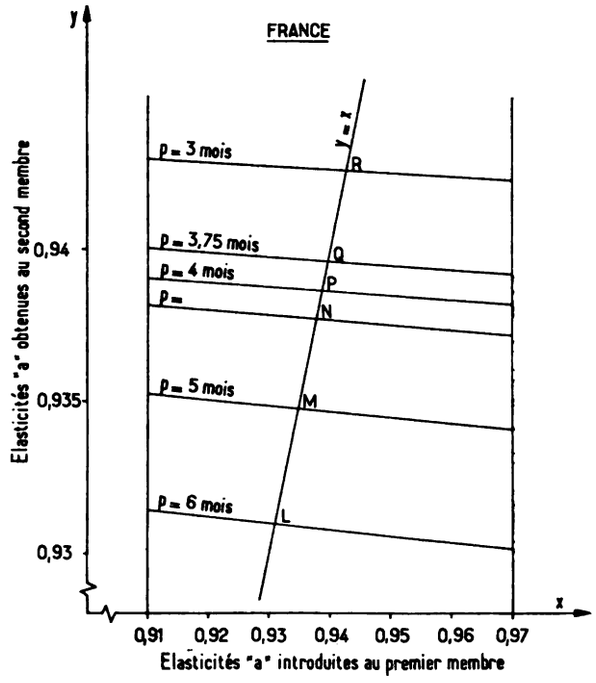


Figure 1.

On pourrait évidemment chercher une plus grande précision de façon à faire coïncider parfaitement les deux élasticités et les deux coefficients K de l'équation liant CR et Iu, mais pour le but qui est recherché ici, une estimation de la portée des stocks poussée à une précision « au jour près » serait absurde. Elle ne le serait pas autant si l'on cherchait une estimation de la consommation réelle.

Critique des résultats.

Le stock moyen total chez les utilisateurs et les négociants sur la période étudiée aurait donc représenté 4 mois 1/4 de la consommation réelle.

La moyenne du niveau des stocks chez les négociants au cours de la même période a représenté 1,25 mois environ de la consommation réelle moyenne (très précisément 1,27).

La portée moyenne des stocks chez les utilisateurs aurait donc été d'environ 3 mois.

Des réponses des utilisateurs répondant à l'enquête annuelle et dont la consommation représente environ 40 % de la consommation réelle totale, il ressort que la portée des stocks se situe à environ deux mois de consommation. Les utilisateurs interrogés sont en fait des entreprises importantes dont la gestion des stocks peut être plus rigoureuse que dans des entreprises plus petites. Un calcul aisé montre que la portée moyenne des stocks dans ces petites entreprises peut être estimée à un peu plus de trois mois et demi.

Tous ces résultats peuvent être considérés comme raisonnables en fonction de renseignements quantitatifs isolés ou qualitatifs dont on peut disposer.

Ce niveau moyen des stocks peut-il être assimilé à un niveau « normal » ? Ici se posent deux questions :

— en supposant que le niveau « normal » soit fixe, la période choisie permet-elle de tirer une conclusion ?

— est-on en droit d'estimer que le niveau normal soit fixe ?

La période considérée est relativement brève (11 ans), mais elle intègre deux cycles complets ayant eu leurs sommets en 1964 et 1969. Les points hauts et les points bas se compensant, on peut dire que le niveau moyen des stocks peut être assimilé comme un niveau « normal » sans trop d'inconvénients compte tenu de la précision recherchée.

Plus critiquable est l'hypothèse d'un niveau « normal » fixe. Les progrès des techniques de gestion tant chez les négociants que chez les utilisateurs prêtent à penser que la portée normale des stocks devrait baisser avec le temps. Par ailleurs, cette portée normale est fonction des délais de livraison qui sont différents selon que l'on se situe en très haute conjoncture ou au contraire en conjoncture médiocre.

Ces facteurs peuvent dans l'état actuel de l'information être difficilement intégrés autrement que de façon purement intuitive et incitent à une très grande prudence dans l'utilisation des résultats obtenus.

Enfin, les calculs précédents ont été effectués sur une consommation agrégée de l'ensemble des produits sidérurgiques. Il est probable que la portée moyenne des stocks varie selon les produits. Des fluctuations de la part de certains produits dans la consommation totale peuvent donc modifier la portée normale de l'ensemble selon les années.

On peut cependant noter que le modèle peut très bien s'appliquer au niveau des différents produits, ce qui permettrait d'affiner l'analyse globale qui précède.

Autre utilisation du modèle. Illustration dans le cas de l'Allemagne Fédérale.

On a vu que l'équation [4]

$$\frac{CA_t}{1 + p - pm_t^a} = K\, Iu_t^a + \varepsilon'_t \qquad [4]$$

permettait de trouver la portée moyenne des stocks dans le cas de la France parce que l'on avait une idée de la valeur de l'élasticité a calculée directement à partir d'estimations de CR_t par

$$CR_t = K\, Iu_t^a$$

Lorsque l'on ne dispose pas d'une estimation exogène de CR_t, le problème devient plus délicat.

On a tenté une expérience dans le cas de l'Allemagne en construisant un indice d'activité des utilisateurs d'acier et en appliquant le modèle [4].

Pour le calcul pratique, on a considéré que l'élasticité a (qui est ici inconnue) se situait en Allemagne comme en France dans l'intervalle (0,91 ; 0,97) et l'on a obtenu une famille de courbes correspondant à chaque portée des stocks p qui ont été représentées sur le graphique de la *figure* 2.

Comme on ne dispose pas de renseignement exogène sur l'élasticité a, on est contraint d'examiner les couples élasticité-portée des stocks correspondant aux points L, M, N, P, Q et même R, et les conclusions à tirer dans l'état actuel de l'information doivent être très prudentes.

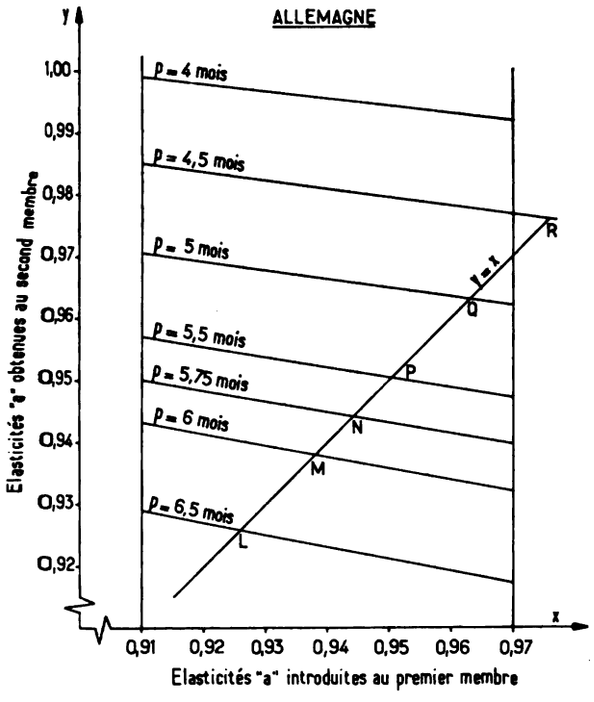


Figure 2.

Si l'élasticité a est voisine de celle observée en France, c'est-à-dire si les phénomènes jouant sur la diminution de consommation spécifique (*) ont la même influence dans les deux pays, on peut conclure que la portée moyenne des stocks au cours de la période étudiée est supérieure à celle observée en France. Comme la consommation réelle est également plus élevée qu'en France, les fluctuations de la consommation apparente dues aux variations des stocks devraient être plus marquées, ce qui est d'ailleurs observé en Allemagne.

Quand bien même l'élasticité serait supérieure à celle qui est observée en France, ce qui pourrait d'ailleurs aussi tenir à la façon dont l'indice d'activité des utilisateurs a été estimé (composition différente dans les deux pays) les conclusions précédentes quant aux différences dans la portée moyenne des stocks ont des chances de rester vraies.

Il peut sembler étonnant que la portée moyenne des stocks soit plus élevée en Allemagne qu'en France ; en effet, l'industrie allemande paraît plus concentrée et la taille des établissements est plus importante. Or, en France, c'est dans les plus grandes entreprises que la portée moyenne des stocks est la plus basse. Il faut cependant remarquer qu'en Allemagne la part des approvisionnements qui passent par le négoce est moindre qu'en France. Dans la mesure où l'établissement utilisateur conserve en stocks dans ce cas une gamme plus large de produits, la portée moyenne des stocks s'en trouve accrue.

Le choix d'un couple (p, a) permet par ailleurs, en donnant dans l'équation [4] une valeur au paramètre K d'estimer la consommation réelle. Les diverses estimations correspondant aux couples (p, a) peuvent alors être comparées à d'autres, obtenues par des procédés qualitatifs.

L'application du modèle à l'estimation de la consommation réelle dans le cas où l'on ne dispose pas d'une autre estimation de cette grandeur doit cependant faire l'objet d'une étude plus approfondie. Il faudrait parvenir, par l'étude du cas de différents pays, à limiter les intervalles dans lesquels peuvent se situer l'élasticité et la portée moyenne des stocks. Ces intervalles étant réduits, il faut remarquer que le choix de deux couples (p, a) très voisins ne change pas considérablement les conclusions que l'on peut tirer en tendance de la comparaison entre consommation apparente et consommation réelle.

(*) L'indice lu étant le plus possible constitué par des indices unitaires mesurés en tonnages, une grande partie de la tendance à l'allègement est prise en compte au niveau des poids produits. Restent l'influence d'une partie de ce phénomène, des gains sur le chutage et de la substitution de matériaux concurrents. Cf. *Rev. Métallurgie* (juillet-août 1970).

sommaire des mémoires

parus dans

les mémoires scientifiques de la revue de métallurgie octobre 1972

mémoires

Michel (H.), Gantois (M.). — Etude de la nitruration par bombardement ionique du titane et des alliages de titane.

Lebrun (J.P.), Michel (H.), Gantois (M.). — Nitruration par bombardement ionique d'aciers inoxydables 18-10.

Morizot (C.), Honnorat (Y.), Vignes (A.). — Mécanismes de précipitation de la phase σ dans les alliages superréfractaires.

Giraud-Héraud (F.), Guillaume (C.). — Relations entre les caractéristiques morphologiques et cristallographiques des réactions de précipitation intergranulaire.

Siegfried (W.). — Quelques aspects nouveaux de l'extrapolation d'essais de fluage.

Tréheux (D.), Duc (D.), Poyet (P.), Guiraldenq (P.). — Etude du diagramme d'équilibre fer-étain par la méthode des couples de diffusion. Influence du carbone.

Cornet (M.), Dillard (J.L.), Talbot-Besnard (Mme S.). — Comportement des alliages fer-carbone purs vis-à-vis de l'hydrogène cathodique. Perméabilité et fragilisation à la température ambiante.

Vallier (G.), Bretin (L.), Toitot (M.), Guiraldenq (P.), Bastien (P.). — Etude de la diffusion du carbone dans les tôles d'aciers de construction plaquées d'aciers inoxydables.

les installations d'agglomération de SACILOR (Rombas) la chaîne n° 2 de 400 m²

M. Viano
Société des Aciéries de Lorraine

PRÉSENTATION D'ENSEMBLE

Les installations d'agglomération des minerais de fer et des produits de récupération sidérurgique sont, à Rombas, intégrées à un groupe de production de fonte dont la capacité annuelle est de 2,2 millions de tonnes de fonte.

La capacité des installations d'agglomération est de 5,7 millions de tonnes/an dont 500 000 t d'agglomérés de four ; les chaines sont conduites à l'allure économique.

L'alimentation des agglomérations en minerais, charbons, fuel, est réalisée par fer, route ou par eau par l'intermédiaire du port de Richemont installé sur la Moselle.

Les 7 700 000 t de minerais proviennent de dix mines lorraines, par réseau ferré intérieur et S.N.C.F.

Les 330 000 t de produits de récupération sont transportées par route et réseau ferré intérieur et enfournées dans les fours tournants.

Les 500 000 t de fines maigres de 5 à 6 provenances différentes arrivent par réseau ferré S.N.C.F. ou intérieur, via le port de Richemont pour les charbons transportés par voie d'eau.

Les 400 000 t de fuel lourd sont approvisionnés par réseau S.N.C.F., en provenance de la raffinerie lorraine de Hauconcourt.

Les agglomérés produits permettent de réaliser 100 % de la charge des hauts fourneaux de Rombas et les 1 000 000 de tonnes excédentaires sont expédiées aux usines dont le lit de fusion comporte encore des minerais : Hayange, Jœuf et Homécourt, par train sur réseau intérieur ou S.N.C.F. (fig. 1 et 2).

LES INSTALLATIONS (fig. 3)

Les différentes phases de traitement sont :

— déchargement et transport (repères 2, 3, 4),

— broyage des minerais (repère 5),

— homogénéisation des minerais et combustibles (repères 6 et 7),

— agglomération en four rotatif (repère 1),

— agglomération sur chaine (repère 8),

— refroidissement criblage (repères 9 et 10).

Figure 1.

Figure 2.

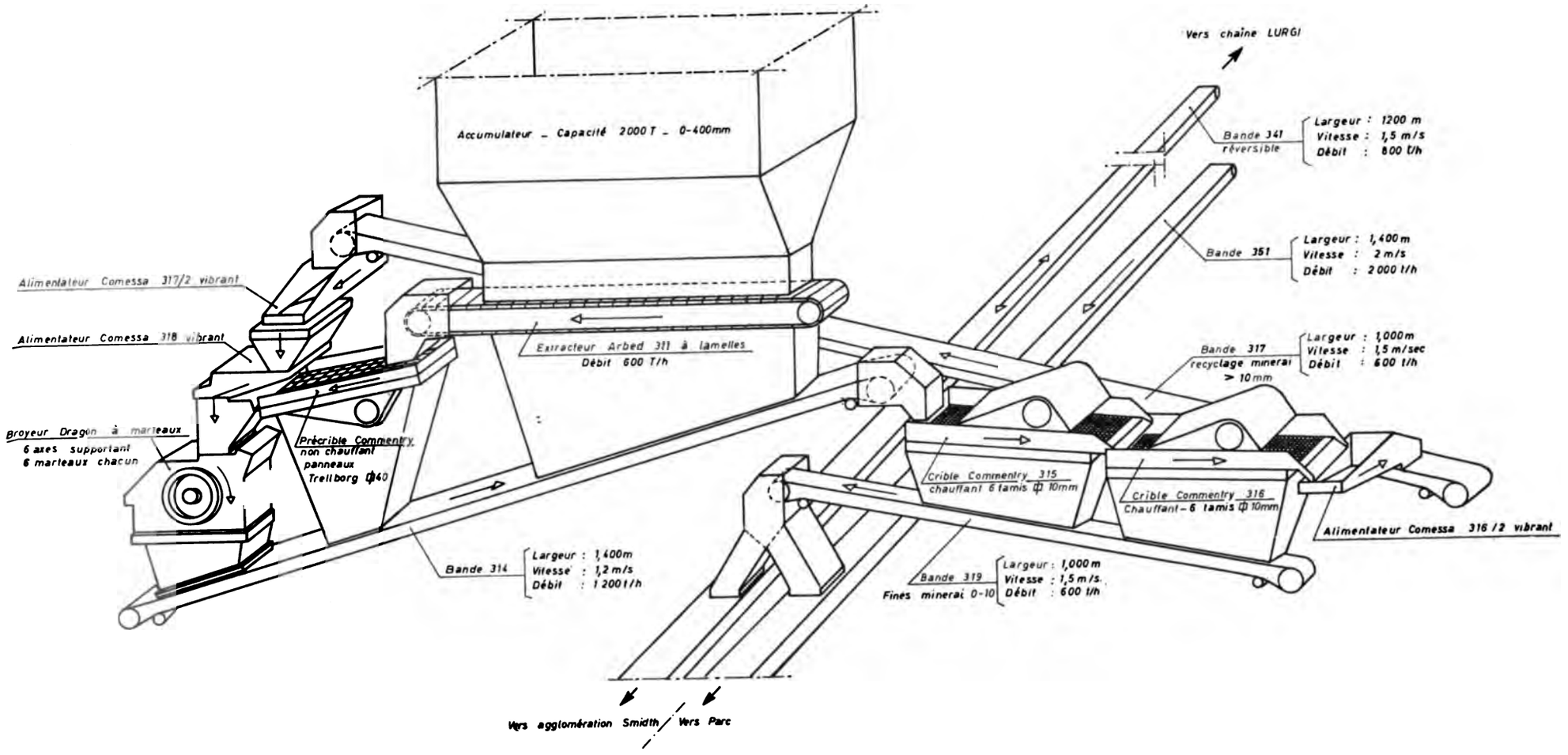


Figure 4. — Ligne de broyage et criblage du minerai. Débit d'une ligne 600 t/h de minerai 0/10.

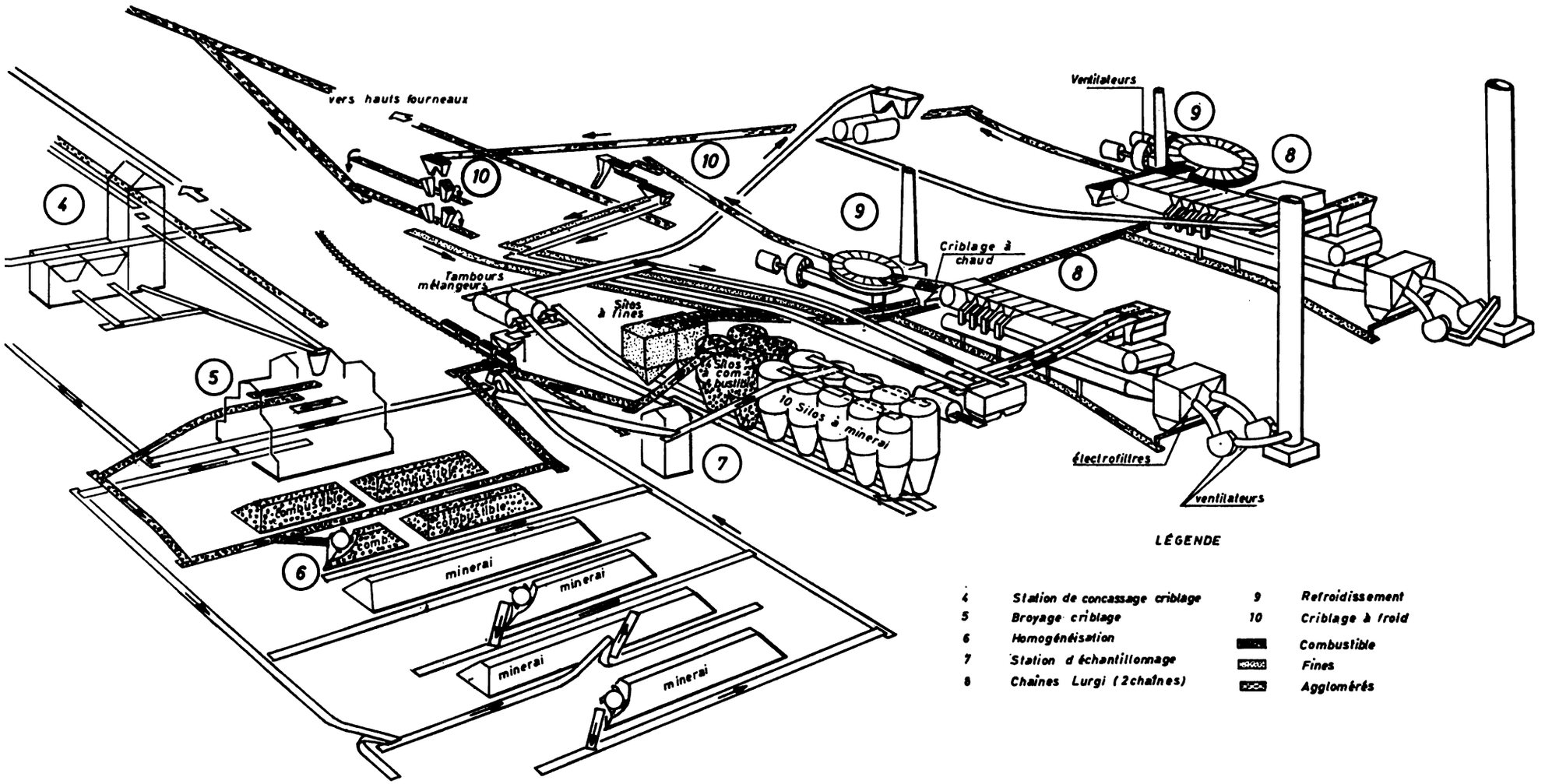


Figure 5. — Agglomération Lurgi.

Figure 6.

Le 0/30 ou le 0/250 est renvoyé sur le broyage (rep. 5) par une ligne transporteuse sur bande capable de réaliser 700 t/h (fig. 2).

Le broyage (fig. 4).

Les minerais, au fur et à mesure de leur arrivage, sont stockés séparément dans 4 accumulateurs de 2 000 t, alimentant chacun une ligne de broyage de débit 500 t/h de fine 0/10 qui sont envoyées par une ligne de transporteurs de 2 000 t/h sur les tas d'homogénéisation.

Chaque ligne de broyage est équipée de 29 m^2 de cribles chauffés électriquement, à mailles carrées de 10 mm.

Homogénéisation des minerais (fig. 5).

Les calculs d'indice de basicité sont réalisés au fur et à mesure des arrivages à l'aide de la moyenne des analyses des 3 derniers trains reçus de la provenance correspondante. A la réception de l'analyse de l'échantillon correspondant, ce calcul prévisionnel est corrigé.

On constitue, à l'aide d'un jeteur, des tas de 45 000 t à 1,48/1,52 d'indice de basicité, en filets successifs en 40 heures environ (fig. 6).

Le parc comporte 4 tas de 45 000 t, dont 1 en cours de constitution et 1 en cours de reprise (fig. 7).

Homogénéisation des combustibles (fig. 5).

Elle est réalisée suivant le même principe : mise en tas en filets longitudinaux et reprise par la même machine en tranche. Les tas sont constitués au fur et à mesure des arrivages, car il n'y a aucune possibilité de stockage d'attente. L'élément suivi est le carbone total, qui doit être constant d'un tas à l'autre, en jouant sur les expéditions du port de Richemont (fig. 8).

Figure 7.

Figure 8.

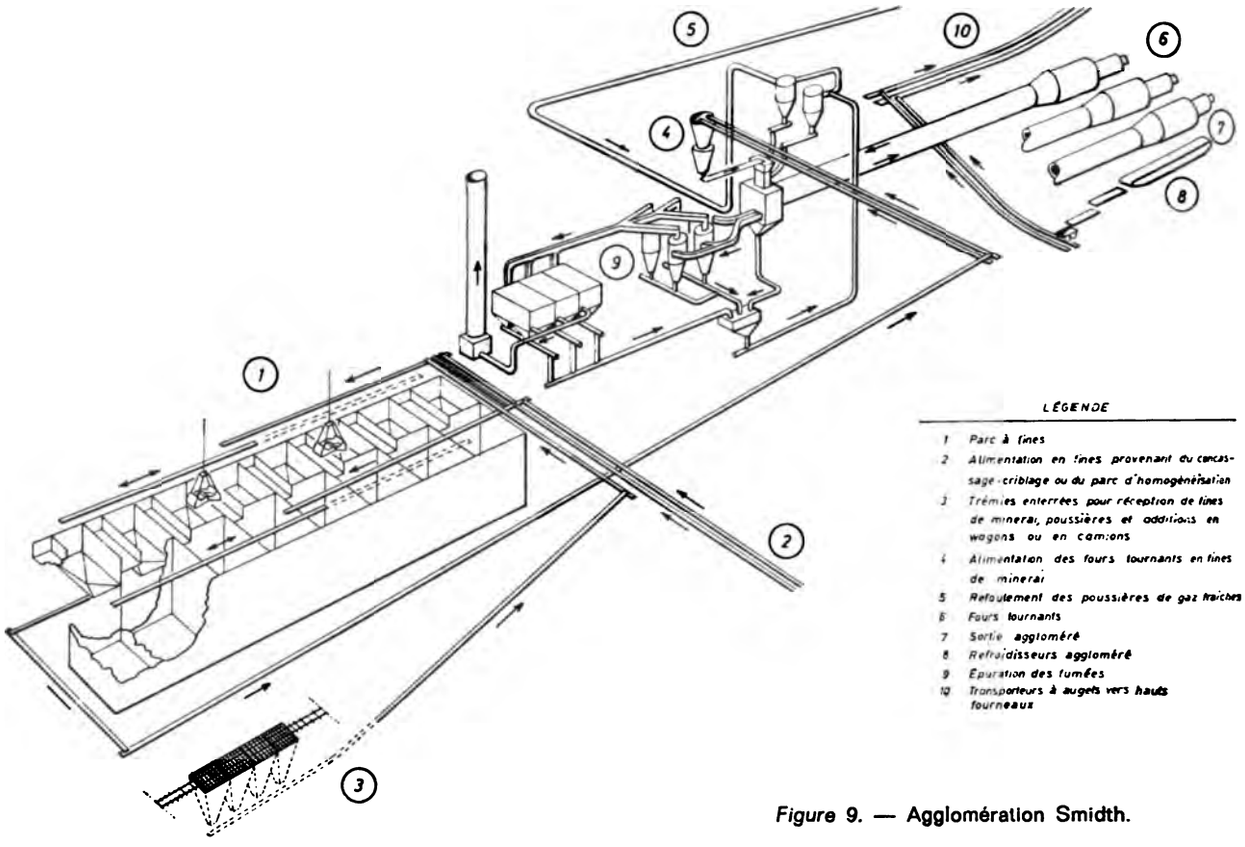


Figure 9. — Agglomération Smidth.

La reprise au parc des fines 0/10 mm.

Elle se fait par l'une ou l'autre des 2 machines de reprise de débit 1 100 t/h et 1 500 t/h vers un circuit débitant 1 500 t/h vers les chaines ou 500 t/h vers les fours.

Au passage, une station d'échantillonnage (fig. 3, rep. 7) permet de contrôler le travail fait à la mise en tas.

L'agglomération Smidth (fig. 9).

Elle est composée :

— d'un parc à fines comprenant 8 cases de 1 000 t, recevant le minerai homogénéisé et les additions diverses, y compris des poussières de gueulard venant d'autres usines. Les poussières de gueulard de Rombas sont ramenées par transport pneumatique des pots à poussière des hauts fourneaux et sont chargées directement dans les fours ;

— 3 fours tournants (2 en service, 1 en réserve), de 92 m de long, diamètre variant entre 2,95 et 5,6 m, inclinés à 4° sur l'horizontale, revêtus entièrement, intérieurement, de bétons réfractaires.

Chaque four est chauffé par une canne à injection de fuel lourd, réchauffé à 120°C à la vapeur. Le réchauffage du four au démarrage se fait au gaz de hauts fourneaux.

L'aggloméré est envoyé aux accumulateurs de hauts fourneaux par 2 lignes de transporteurs métalliques.

Les agglomérations sur grille (fig. 10).

Les seules installations communes aux 2 chaines sont les bandes à minerai venant du parc d'homogénéisation et la bande emmenant l'aggloméré vers les accumulateurs des hauts fourneaux.

Leurs schémas sont identiques, mais pour diverses raisons, les implantations, les dimensions et le nombre d'appareils sont différents.

Réception des matières.

Le minerai homogénéisé venant du parc est réparti simultanément sur 2 alimentateurs vibrants et sur 2 bandes navettes parallèles alimentant chacune 5 silos de 800 t chacun. 4 silos alimentent la chaine I et 6 la chaine II.

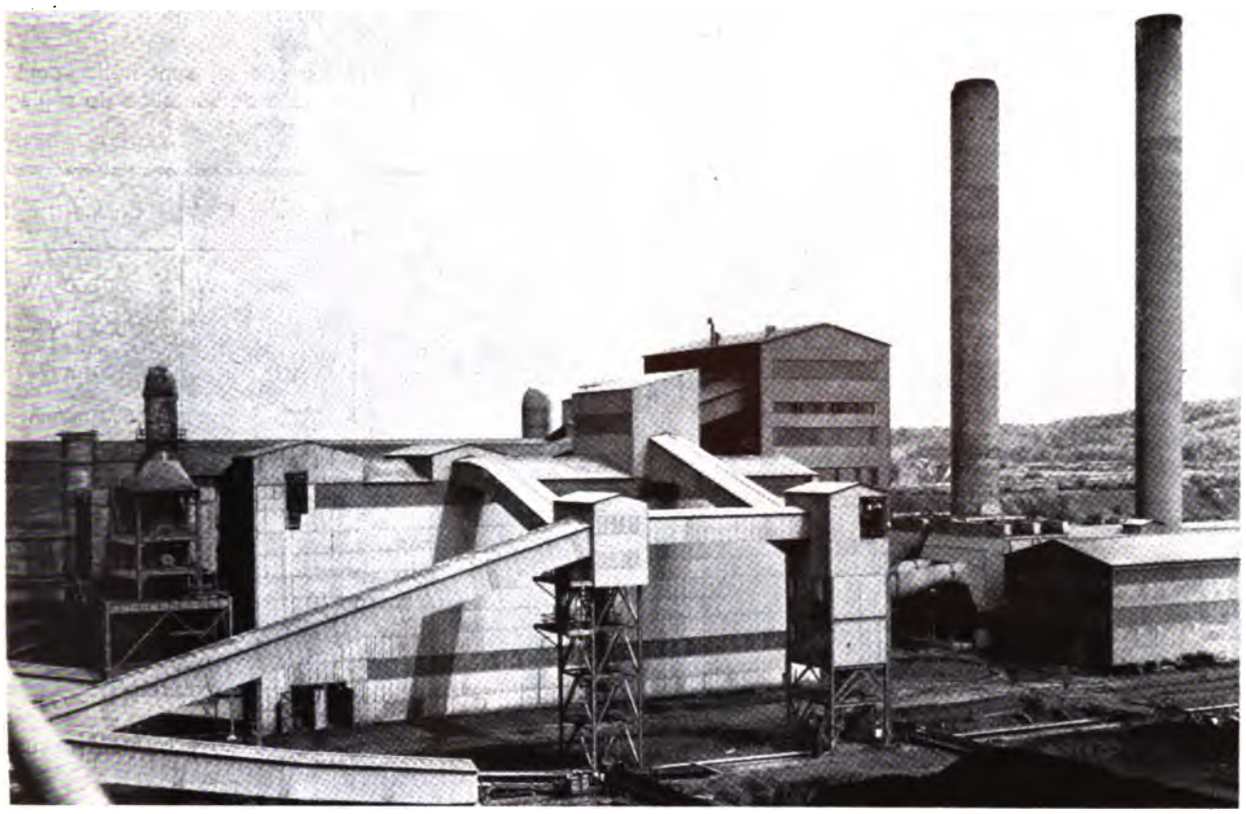


Figure 10.

Le combustible est amené alternativement par une bande à tête mobile sur les silos à combustible (2 par chaine, contenant 400 t chacun) revêtus de basalte.

Les fines de retour sont stockées dans 2 trémies métalliques de 500 t pour la chaine I et 850 t pour la chaine II.

Préparation des mélanges.

Sur la chaine I, la largeur des bandes est de 200 mm et de 1 600 mm pour la chaine II.

Chaque trémie à minerai et à combustible est équipée à sa base d'un dosomètre à bande.

L'extraction des fines de retour se fait par extracteur vibrant, à fréquence de vibration variable et régulée.

Les circuits sont équipés de différentes bascules sur bande :

	Total minerai	Total minerai + combustible	Total M + C + fines de retour
Chaine I .	1	—	1
Chaine II .	1	1	1

Les bascules et les dosomètres de ces circuits peuvent faire l'objet d'un étalonnage matière, grâce à un circuit by-pass des trommels mélangeurs, qui permet d'envoyer le matériel à peser dans des wagons qui sont ensuite pesés sur bascule ferroviaire.

Trommels mélangeurs.

1 chaine I, ∅ 3,5 m, longueur 10 m, vitesse 4,9 tr/mn.

1 chaine II, ∅ 3,8 m, longueur 14 m, vitesses 4,5 tr/mn.

Trommels nodulateurs.

2 chaine I, ⌀ 3,5 m, longueur 10 m, vitesse 6,9 tr/mn.

2 chaine II, ⌀ 3,8 m, longueur 14 m, vitesse 5,6 tr/mn.

Les trommels de la chaine II, à la différence de la chaine I, ont été installés au sol car ils pèsent 130 t chacun et leur installation à une hauteur de 20 m représentait un investissement important. Des précautions sur le circuit de transport ont été prises pour amener les nodules sur la chaine dans les meilleures conditions de conservation.

Les additions d'eau dans les trommels sont de l'ordre de 2 % au mélangeur sur le mélange et de l'ordre de 3 % aux nodulateurs.

Les mélanges nodulés sont chargés sur les chaines par tambour à vitesse variable. L'épaisseur est :

	Chaine I (cm)	Chaine II (cm)
Bedding	2	0
Mélange	38 < 0 < 50	40 < 0 < 55

La chaine II ne comporte pas de bedding ; le criblage à froid est donc plus simple, mais les chariots comportent des pièces d'isolement thermique et les barreaux sont en acier au nickel-chrome. La possibilité de l'installation d'un circuit d'alimentation en bedding aggloméré a été réservée.

L'allumage.

La hotte d'allumage de la chaine I est alimentée en gaz de four à coke pur ; les brûleurs sont perpendiculaires à la couche.

La hotte de la chaine II est alimentée en fuel lourd n° 2 ; elle comporte 4 brûleurs à axe horizontal.

Les circuits d'aspiration.

Le principe est exactement le même sur les 2 chaines. Toutefois, des aménagements de la chaine II ont visé :

— à réduire au maximum les entrées d'air froid,

— à réduire le nombre des pièces soumises à l'abrasion, en particulier entre trémies sous chaine et collecteurs d'aspiration, et à faciliter leur changement,

— à réduire l'importance des corrosions en calorifugeant les collecteurs d'aspiration et en chauffant à 150°C, les toitures d'électrofiltres d'épuration des fumées.

Les collecteurs d'aspiration sont au nombre de 2 par chaine, leurs sections sont : 2 × 9 m² pour la chaine I et 2 × 18 m² pour la chaine II.

Les ventilateurs (2 par chaine) sont hélico-centrifuges à double roue, équipés de ventelles de réglage à l'aspiration.

	Chaine I	Chaine II
Puissance	2 × 3 800 kW	2 × 6 600 kW
Solo	4 000 kW	8 000 kW
Haut. des cheminées	100 m	100 m
Débit d'air aspiré	16 000 m³/mn	32 000 m³/mn à 120°C

Chaque ensemble, électrofiltre + ventilateur, peut être isolé et réparé pendant que l'autre ventilateur en solo permet d'assurer 70 % de la production.

Les trémies récupératrices de poussières sous collecteurs sont équipées de fermetures à sas dites à double cône. Sur la chaine I, certaines — les plus sollicitées à l'abrasion — sont équipées pour assurer au repos la fermeture des 2 cônes.

Chaines (fig. 11 et 12).

	Chaine I	Chaine II
Chariots	97	132
Largeur utile	3,5 m	5 m
Fente	5 mm	4 mm
Surface utile	194	400 m²
Longueur utile	56 m	80 m
Dépression	1 400 mm CE	1 500 mm CE

L'étanchéité latérale est assurée par patins appliqués par ressorts et graissés.

L'entrainement de la chaine II et du brise-motte est fait par réducteur boggiflex, qui est d'un encombrement plus réduit que les ensembles-moteurs réducteurs de la chaine I.

Sur la chaine I, les machines à vitesse variable étaient commandées par variateurs PIV ; ces dispositifs ayant créé un certain nombre de pannes graves ont été supprimés sur la chaine II, et les moteurs sont à vitesse variable et alimentés par thyristors.

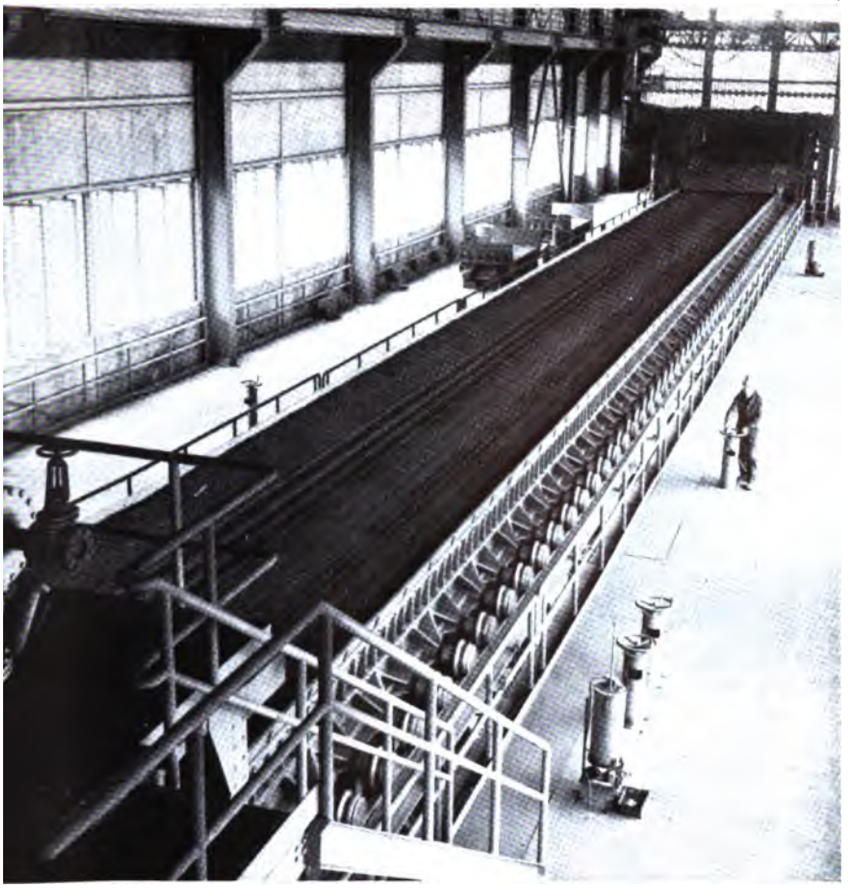


Figure 11. — Chaîne I.

Figure 12. — Chaîne II.

Brise-motte.

Il est à dents fixes et rechargés par soudure Abraso dur 45 sur place. La conception du brise-motte de la chaine II permet, à l'aide d'un pont roulant de 60 t, de remplacer celui-ci en 8 h au maximum.

Criblage à chaud.

Maille de 6 × 15. Surface : 20 m² pour la chaine I et 38 m² pour la chaine II.

Les cribles de la chaine II étant, pour des raisons d'implantation du refroidisseur circulaire, perpendiculaires à l'axe de chaine des caisses à pierres mobiles, ont été réglés au démarrage pour avoir une bonne répartition sur toute la largeur des cribles.

Pour faciliter l'entretien, chaque crible est sur roues et peut être déplacé pour l'amener sous un palan de montage, pour remplacer les auges ou, sous le pont de 60 t, pour remplacer le crible complet en 8 h.

Refroidisseurs circulaires.

	Chaine I	Chaine II
Diamètre	17 m	26 m
Nombre de cellules .	28	48
Volume des cellules .	10 m³	15 m³
Débit de soufflage . .	14 000 Nm³/mn	25 000-35 000 Nm³/mn
Nombre de ventilateurs	1	2
Puissance installée .	630 kW	2 × 600 kW

Le soufflage se fait par canal souterrain à l'aide de ventilateurs axiaux.

Chaque ventilateur de la chaine II peut être isolé pour réparation, alors que l'autre, au débit maximal, assure 70 % de la production.

Ces ventilateurs sont munis de pales à pas variable, en marche, commandés par servo-moteur.

Ce réglage permet d'agir rapidement en cas de pompage d'une part, d'autre part, de régler le débit optimum d'air nécessaire en fonction de la température extérieure de l'aggloméré à l'entrée, de la vitesse du refroidisseur et de la température de l'aggloméré à la sortie, réglée à un maximum de 100°C, compatible avec la tenue de la bande transporteuse. Ce dispositif assez complexe permet une économie appréciable de consommation d'électricité.

Transport entre refroidisseur et criblage à froid. Criblage à froid.

Pour assurer aux cribles une charge aussi constante que possible, et aussi pour régler le débit sur la bande d'évacuation vers les hauts fourneaux, la charge des cellules de refroidisseur est reprise dans une trémie. L'extraction se fait par extracteurs à fréquence variable, réglée en fonction du niveau dans la trémie et du débit instantané mesuré sur la bande de sortie par rouleaux peseurs.

Criblage à froid.

	Chaine I	Chaine II
Coupure à 25	1 × 9,9 m²	2 × 18,5 m²
Coupure à 15	1 × 7,2 m²	0
Coupure à 5	1 × 7,2 m²	2 × 24,8 m²

Le criblage de la chaine II est aménagé en 2 lignes identiques qui peuvent être arrêtées séparément pour en assurer la réparation, pendant que l'autre ligne assure 70 % de la production.

Expédition des agglomérés.

Le transport se fait par une bande de largeur 1 400 mm, à un débit minimum de 625 t/h. L'aggloméré est réparti dans 3 accumulateurs alignés sur l'axe du transporteur par une bande navette. Le niveau, dans chaque accumulateur, est réglé par émetteur radioactif et capteur ; le déplacement de la navette se fait suivant un programme préférentiel présélectionné.

Les 3 accumulateurs permettent de charger l'aggloméré sur 3 voies desservant l'ensemble des accumulateurs des 8 hauts fourneaux de Rombas, par transfer-car.

Une bascule, sur la navette, permettra de peser l'aggloméré chargé dans des wagons-talbots pour expédition par S.N.C.F. vers d'autres usines de la société.

CARACTÉRISTIQUES DES AGGLOMÉRÉS

Les agglomérés produits ont les caractéristiques suivantes :

Agglomérés Smidth : 45 à 50 % Fe ; CaO/SiO_2 = 1,40 à 1,50.

Agglomérés Lurgi : 41,13 à 42 % Fe ; CaO/SiO_2 = 1,40 ; Fe^{++} : 6,5 à 8 % ; granulométrie < 2,5 mm : 7 %.

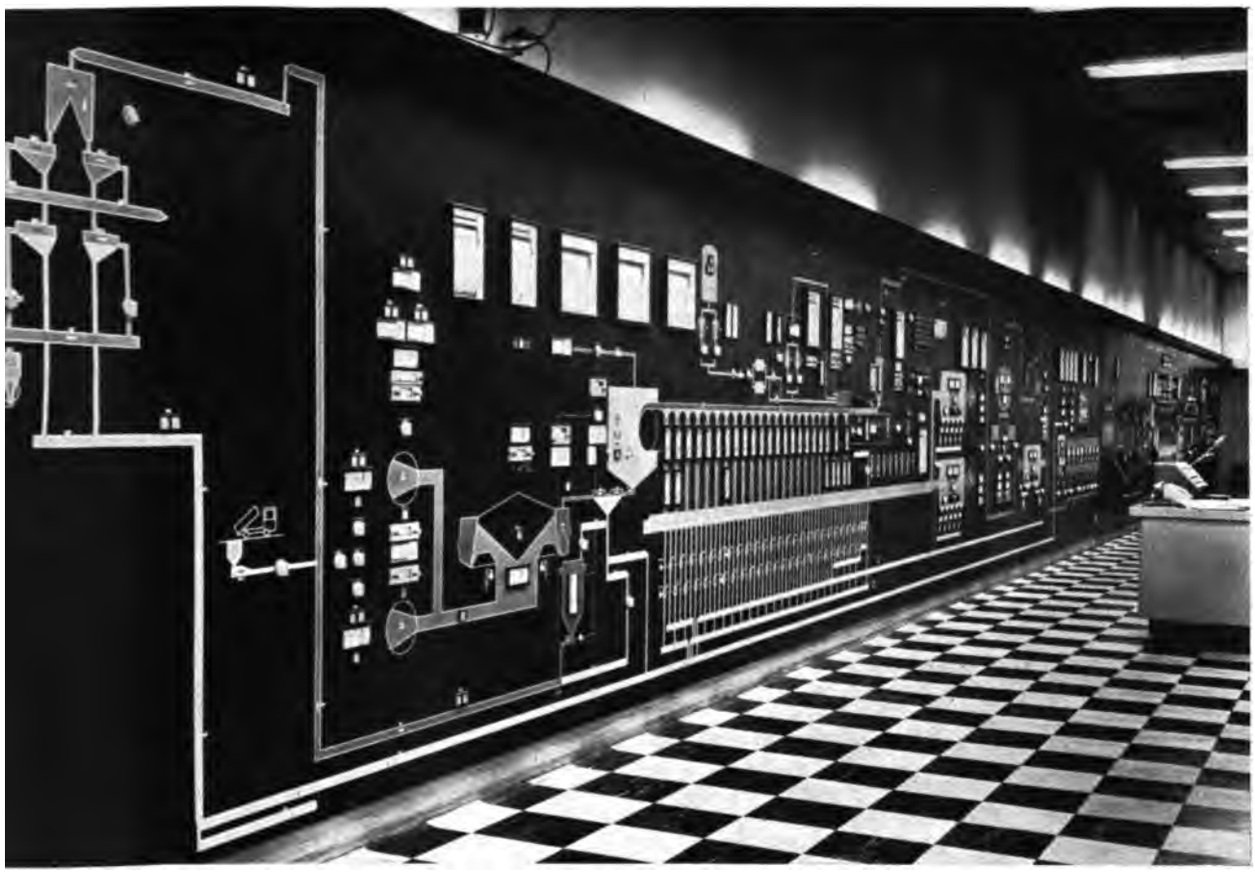


Figure 13. — Tableau synoptique de commande.

INSTALLATIONS COMPLÉMENTAIRES

Régulations :

Les régulations de la chaine II sont conçues pour permettre ultérieurement la conduite de chaine par ordinateur.

Sur les deux chaines, on trouve successivement :

— la régulation de préparation du mélange,

— les régulations d'addition d'eau sur les trommels,

— la régulation de l'alimentation de la chaine,

— la régulation du tambour de distribution de mélange sur la grille,

— la régulation de la température de hotte d'allumage,

— la régulation de la vitesse du refroidisseur et du débit d'aggloméré vers le criblage à froid.

Toutes les commandes, enregistrement, surveillance des 2 chaines se font à partir d'un tableau synoptique unique (fig. 13).

Préservation de l'environnement.

Les rejets dans l'atmosphère sont épurés dans des épurateurs électrostatiques. Tous les ventilateurs sont munis de dispositifs d'insonorisation.

Les investissements pour ces installations correspondent à 14 % de l'investissement des agglomérations seules.

Le dépoussiérage des locaux est assuré par un ventilateur et un électrofiltre sur chaque chaine, avec des moteurs de 285 CV (chaine I) et 850 CV (chaine II).

Chaufferie.

Une chaufferie équipée de 2 chaudières Lardet de 2 000 000 de calories chacune fabrique de l'eau surchauffée à 18 bars et 180°C.

Cette eau permet de réchauffer le fuel lourd à 120°C pour les brûleurs de la hotte d'allumage de la chaine II, ainsi que pour les chaudières ; le démarrage de celles-ci se fait au fuel domestique.

L'eau chaude est distribuée dans l'installation pour le chauffage des trémies à minerai et à mélange, afin d'éviter les colmatages.

Elle permet également de maintenir les toitures d'électrofiltres à 150°C pour réduire au maximum les corrosions sulfuriques dans cette zone particulièrement attaquée.

L'eau de ce circuit est traitée pour assurer la stabilité des sels dissous à 180°C et assurer la fixation de l'oxygène dissous, afin d'éviter les corrosions. Elle est surveillée périodiquement et traitée.

Réseau d'eau réfrigérée SOFRAIR.

Les calories à évacuer dans les moteurs de 4 000 et 8 000 kW, dans l'huile de lubrification des lignes d'arbre des ventilateurs, dans les sous-stations d'alimentation des redresseurs d'électrofiltres et sur les paliers des pompes d'eau chaude sont transportées par eau en circuit fermé par 2 pompes en parallèle (1 en réserve) de 220 m^3/h chacune, eau qui est refroidie par 2 aéroréfrigérants de 1 740 m^2 chacun, munis de 8 ventilateurs.

Leur mise en marche est commandée par un régulateur en fonction de la température de l'eau, à la sortie des réfrigérants.

Cette eau est également traitée séparément et surveillée.

Installation de graissage.

95 % des graissages à la graisse sont faits automatiquement par graissages centralisés.

Deux qualités de graisses sont utilisées dans l'ensemble des installations. Elles sont stockées dans 3 conteneurs de 8 m^3, 2 pour la graisse d'étanchéité, 1 pour la graisse pour roulements et pour coussinets.

Réseau d'eau pour humidification du mélange minéral.

Un bassin de 150 m^3 a été installé dans un volume libre au sol, dans lequel les eaux de drainage sont envoyées, ainsi que les eaux de refroidissement de l'agglomération Smidth. Un appoint est possible grâce à un collecteur venant de l'usine en eau filtrée.

2 pompes (1 en service) assurent la fourniture à une pression de 6 bars, de 240 m^3 d'eau à l'heure aux 6 tambours mélangeurs et nodulateurs.

Magasins, atelier d'entretien, lavabos-vestiaires, réfractaires.

Les magasins fermés représentent 1 600 m^2 au total. Une aire de stockage de 1 000 m^2 est prévue au dehors.

Un lavabo vestiaire pour 280 places est installé.

Un réfectoire de 80 places pour le personnel d'appoint des jours d'arrêt est également construit.

L'achat des pièces de rechange de ces installations représente 5 % de l'investissement total.

Les coefficients de marche visés sont de 96 %.

La chaine II a été conçue pour réduire à 8 h les durées des interventions d'entretien et pour espacer les arrêts programmés de 6 semaines. Les aménagements contre l'abrasion ont conduit à aménager des caisses à pierres, à mettre du Corhart ZAC ou des tôles PM 35, d'épaisseur 20 mm, là où cela n'était pas possible. Les épaisseurs des tôles soumises à la corrosion ont été majorées de 5 à 10 mm ; la construction des électrofiltres principaux a été faite pour sortir des zones corrodées toutes les poutres principales.

Les engins de levage électriques fixes, de forces variant entre 5 et 60 tonnes, sont au nombre de 10.

Un certain nombre de manutentions peu fréquentes ont été prévues à la grue routière.

SÉCURITÉ - PROPRETÉ - INCENDIE

Afin de réduire au maximum les nettoyages, aucune bande de largeur inférieure à 800 mm n'a été installée.

Ces bandes sont équipées de racleurs doublés de brosses rotatives et souvent d'une corde à piano pour le pré-nettoyage.

Le cahier des charges, en matière de sécurité, a été appliqué dans 99 % des cas. Toutes les passerelles d'accès nécessaires ont été prévues à l'étude et installées.

Chaque bande est équipée d'un contrôle de rotation et de plusieurs contrôles de déviation, suivant la configuration des transporteurs.

CONCLUSIONS

La chaine de 400 m^2 était, à l'époque où elle a été étudiée, la première de cette importance au monde.

Une année de marche permet de citer quelques points qui auraient pu être conçus différemment.

1. La préparation du mélange est satisfaisante ; toutefois, il est certain qu'il est néfaste de mélanger aux fines de retour de criblage les fines de dépoussiérage, qui ont l'inconvénient de provoquer un débit très irrégulier des fines de retour

sur les alimentateurs d'extraction ; des voûtes et des éboulements se succèdent quelquefois rapidement dans la trémie de stockage. Il faut donc isoler ces produits et les introduire avant mélangeur par l'intermédiaire de trémies aussi petites que possible.

Les trommels mélangeurs et nodulateurs sont à la limite des possibilités mécaniques et leur construction doit se rapprocher de celle d'un four tournant ; c'est d'ailleurs ce qui a été fait dans d'autres installations par la suite.

2. L'allumage avec des brûleurs à fuel est à perfectionner, en particulier sur les chaînes larges ; le brûleur à axe horizontal pose des problèmes pour allumer sur toute la largeur ; par ailleurs, la couche dans l'axe de chaîne est scorifiée.

3. Les chariots ont donné lieu à des mises au point ; les tolérances serrées nécessaires sur de telles pièces ne sont plus compatibles avec les tolérances brutes de fonderie, un certain nombre d'usinages sont nécessaires. Par ailleurs, la dilatation différente d'une poutre de 5 m de long et des barreaux impose, pour éviter les trous de chargement, un aménagement particulier.

Les marches à un ventilateur ne sont à envisager que très temporairement, car elles donnent lieu à une différence de débit d'air au travers de la couche, d'un côté à l'autre de la chaîne ; le côté correspondant au ventilateur arrêté cuit moins vite que l'autre.

4. Les cribles sont les appareils les plus délicats de l'installation et l'augmentation de leur surface pose des problèmes de puissance des générateurs de vibration. Ceux-ci grossissant, les fréquences baissent et des phénomènes de blocage des produits, dans les trous des tôles, deviennent très gênants. Par ailleurs, des phénomènes de vibrations parasites se produisent, fort gênantes pour le voisinage et difficiles à supprimer.

Un autre inconvénient apparaît, dû à la dimension des appareils ; les sollicitations que subit l'aggloméré sont importantes et les cribles recréent des fines.

Il est donc souhaitable d'utiliser des appareils scalpeurs qui n'envoient sur les cribles que les fractions les plus fines, donc en quantité moindre, conduisant à des appareils plus petits, des hauteurs de chute plus faibles, des vibrations à fréquences plus élevées et évitant le phénomène de goujonnage.

5. Les dépoussiérages sont difficiles à faire à l'aide d'un seul réseau, très difficile à équilibrer.

Par ailleurs, les mouvements d'air créés par les très gros cribles perturbent beaucoup les dépoussiérages, ce qui conduit aussi à essayer de réduire leurs dimensions.

Aciérie d'Isbergues : vue

l'aciérie électrique d'Isbergues

R. Catella
Directeur de la division à chaud de l'usine d'Isbergues
(Cie des Forges de Chatillon-Commentry-Biache)

La nouvelle aciérie électrique d'Isbergues est exploitée dans le cadre d'un groupement d'intérêt économique animé par le Groupe Châtillon-Commentry-Biache avec la participation de Creusot-Loire, pour la production d'aciers inoxydables et d'aciers spéciaux.

Les premières commandes ont été passées en juillet 1969. La première coulée d'acier inoxydable a été effectuée en décembre 1971.

L'ingéniérie a été réalisée par SOFRESID.

CHOIX DES TECHNIQUES. DÉFINITION DE L'ACIÉRIE

Depuis de longues années, la société Chatillon-Commentry-Biache est licenciée de la firme américaine ARMCO et a pu profiter des études et installations pilotes de cette société.

Elaboration.

Dans le premier stade, la fusion et l'affinage ont été prévus au four électrique. Ultérieurement, d'autres procédés permettant l'affinage hors du four électrique pourront être mis en œuvre.

Coulée.

Des études et des essais très importants ont permis de comparer les rendements et la qualité des produits :

— coulés en lingots, laminés ensuite au slabbing,

— coulés sous pression,

— coulés en continu.

Cette dernière solution a été retenue comme étant la plus satisfaisante sur le plan de la qualité des produits finis, du rendement et du prix de revient, compte tenu des possibilités du train à bandes. L'épaisseur des brames a été fixée à 150 mm, la largeur maximale 1 550 mm.

Dégazage.

La forte proportion d'acier ferritique élaboré conduit à dégazer le métal avant la coulée continue pour réduire les défauts internes. L'objectif est de dégazer tous les aciers élaborés.

Capacité unitaire.

Elle a été définie par la coulée continue et le tonnage annuel de la première étape : 200 à 250 000 t d'aciers inoxydables et d'alliages spéciaux.

En une heure, il est possible de couler environ 75 t par ligne de coulée continue pour une brame 150 × 1 000 mm ; nous avons choisi une coulée à une ligne et une capacité unitaire des moyens d'élaboration de 80 t avec des ponts de coulée de 125 t.

Mécanisation. Automation.

Afin de supprimer les travaux pénibles et d'obtenir un bon contrôle des différentes opérations, l'aciérie a été largement mécanisée et automatisée.

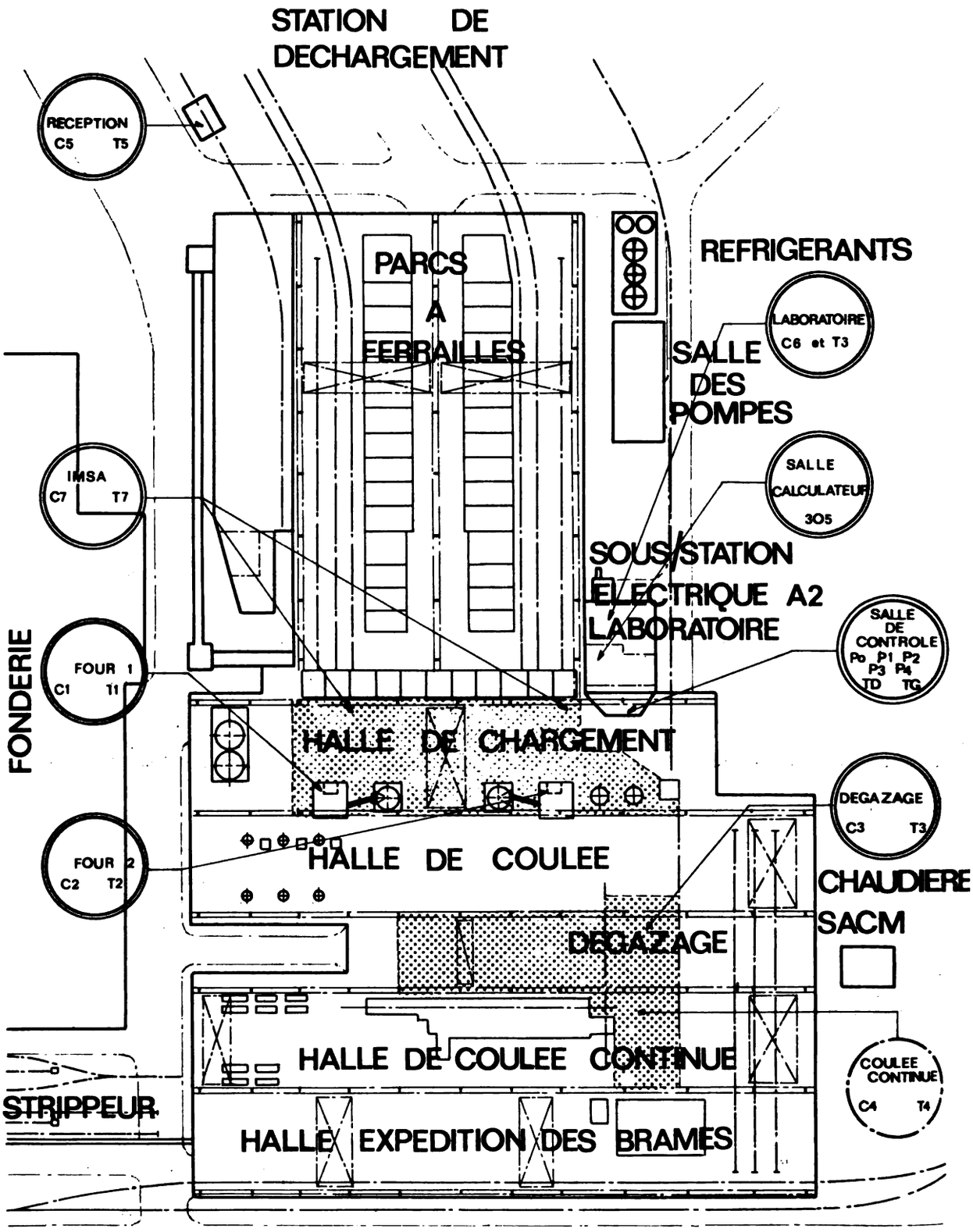


Figure 1. — Implantation des pupitres de l'automatisme central sur le plan général de l'aciérie.

Figure 2. — Parc à ferrailles.

IMPLANTATION GÉNÉRALE

Elle répond à deux motivations principales :

— la séparation des fonctions,

— les possibilités d'extension.

Pour le stade initial, il aurait été possible de concevoir une aciérie plus classique, plus ramassée, plus centralisée ; mais l'imbrication des outils aurait rendu plus difficile leur mise en production, et l'implantation des capacités ultérieures de fusion ou d'affinage se seraient faites assez difficilement, les manutentions devenant des goulots d'étranglement. On a donc retenu la disposition générale représentée sur la *figure 1* où on distingue les halles successives :

— 2 parcs à ferrailles et ferro-alliages, et magasin,

— la halle de chargement et des fours,

— la halle des poches et de coulée en lingotières,

— la halle de dégazage,

— la halle de coulée continue,

— la halle de démoulage et d'expédition.

LES PARCS A FERRAILLES ET A FERRO-ALLIAGES (fig. 2)

La charge des aciers inoxydables est constituée par de très nombreuses qualités de ferrailles qu'il faut éviter de mélanger : les paniers à ferrailles doivent être chargés près des wagons et des loges où se trouvent ces ferrailles ; d'autre part, les wagons doivent être vidés complètement et sans délai soit dans le panier à ferrailles, soit dans les loges de stockage intermédiaires. Ceci a conduit à installer les deux parcs à ferrailles perpendiculairement à la halle des fours pour permettre aux chariots porte-paniers de se déplacer depuis la halle des fours jusqu'à l'extrémité des halles à ferrailles ; ils peuvent ainsi toujours être mis en place au plus près des matières qu'ils doivent recevoir.

Figure 3. — Salle de contrôle.

Il y a deux halles à ferrailles, larges de 32 m qui comprennent chacune de façon symétrique :

— la voie du chariot peseur porte-paniers (côté extérieur),

— 2 voies ferrées pour les wagons,

— des loges pour les différentes matières,

— une route pour la réception par camions.

Chaque halle est équipée d'un pont rapide à trois poutres et deux levages, l'un pour l'électro-aimant, l'autre pour le grappin (matières non magnétiques).

Les charpentes ont été calculées pour recevoir ultérieurement un second pont dans chaque halle.

Un second chariot porte-paniers plus petit (capacité maximale 20 t) se déplace sur une voie en élévation située dans le prolongement d'une des voies ferrées ; ce petit panier reçoit les additions programmées de silico-réduction.

Le pontonnier est en liaison radio avec la salle de commande (fig. 3) ; il reçoit ses instructions par des panneaux lumineux lui indiquant le code matières, le poids à charger et le poids effectivement chargé. Il commande, de son pont, les déplacements des chariots porte-paniers et à additions programmées.

Matières d'affinage.

Dans les parcs ne sont stockés que les ferro-alliages qu'il est économique d'acheter en grosse granulométrie.

Toutes les matières d'affinage de granulométrie inférieure à 100 mm (ferro-alliages, chaux, spath, dolomie, etc.) sont déversées à partir de camions ou de wagons-trémie dans une station de déchargement et véhiculées par courroie transporteuse dans une installation de manutention et de stockage des additions comprenant :

— 28 trémies de stockage ;

— 1 chariot peseur-extracteur télécommandé depuis la salle de commande (semi-automatique) ou par l'ordinateur (automatique). Ce chariot se déplace sous les trémies et va se décharger soit dans

Figure 4. — Fours à arc UHP de 80 t.

les paniers placé sur son chariot porte-
s, soit dans des cuillers de chargement
es à la chargeuse, soit dans des bennes
transporter vers les additions en poche ou
mies de dégazage.

LES FOURS

pacité unitaire ayant été définie à 80 t, les
s (fig. 4) ont les caractéristiques principales
:

tre de cuve	6,100 m
tre intérieur sur garde neuf	5,000 m
ité nominale	80-90 t
	pivotante
	fixe
tre des électrodes	550 mm (possibilité de 600)

— Diamètre du cercle d'électrodes 1 600 mm

— Transformateur-abaisseur avec commutateur en charge
  220 kV/33 à 9 kV
  Puissance 40 MVA

— Transformateur four P = 46 MVA
  Surcharge 17 % (30 mn)
  Intensité maximale 56,5 kV
  Tension sur four 150 à 550 V

— Compensation de l'énergie réactive installée sur la tension intermédiaire de 33 à 9 kV = 14 000 kVAR

Les transformateurs abaisseurs sont situés à l'extérieur de l'aciérie (à environ 300 m des fours), la liaison avec le transformateur four se fait par câble souterrain.

La puissance maximale effective développée par les fours est d'environ 35 MW. Les fours sont installés sur plate-formes au niveau 7,70 m.

DÉPOUSSIERAGE

Chaque four est équipé d'une installation de captage et de dépoussiérage des fumées :

— captage par un coude mobile à chemise d'eau raccordé au 4e trou de la voûte ;

— registre d'isolement refroidi ;

— conduit fixe à chemise d'eau avec papillon de réglage asservi à la pression du four, et manchette coulissante asservie à la position des portes de façon à assurer la combustion complète de l'oxyde de carbone ;

— refroidissement par pulvérisation (Quen Cher) ;

— dépoussiérage humide par venturi Kinpactor permettant la régulation de la perte de charge ;

— débit maximal d'oxygène 85 Nm^3/mn ;

— débit maximal de fumées sèches 40 000 Nm^3/h ;

— teneur maximale en poussière 150 mg/m^3.

On a cherché à implanter les fours et le dépoussiérage de façon à dégager le maximum de place entre les deux fours ; ceci permet les évolutions de la chargeuse et laisse la possibilité d'installer ultérieurement des trémies de boulettes préréduites pour l'alimentation continue des fours.

DÉCRASSAGE

Le laitier d'acier inoxydable est très chaud et endommage rapidement les cuves à laitier ; on a renoncé à ces cuves, le laitier coule au sol et il est repris immédiatement après la coulée par une chargeuse sur chenilles.

HALLE DES POCHES ET DE COULÉE EN LINGOTIÈRES

L'atelier de préparation des poches est équipé de 4 basculeurs à poche et de 4 brûleurs de séchage.

Les poches n'ont pas de quenouilles : elles sont équipées du système de busettes à tiroirs Interstop.

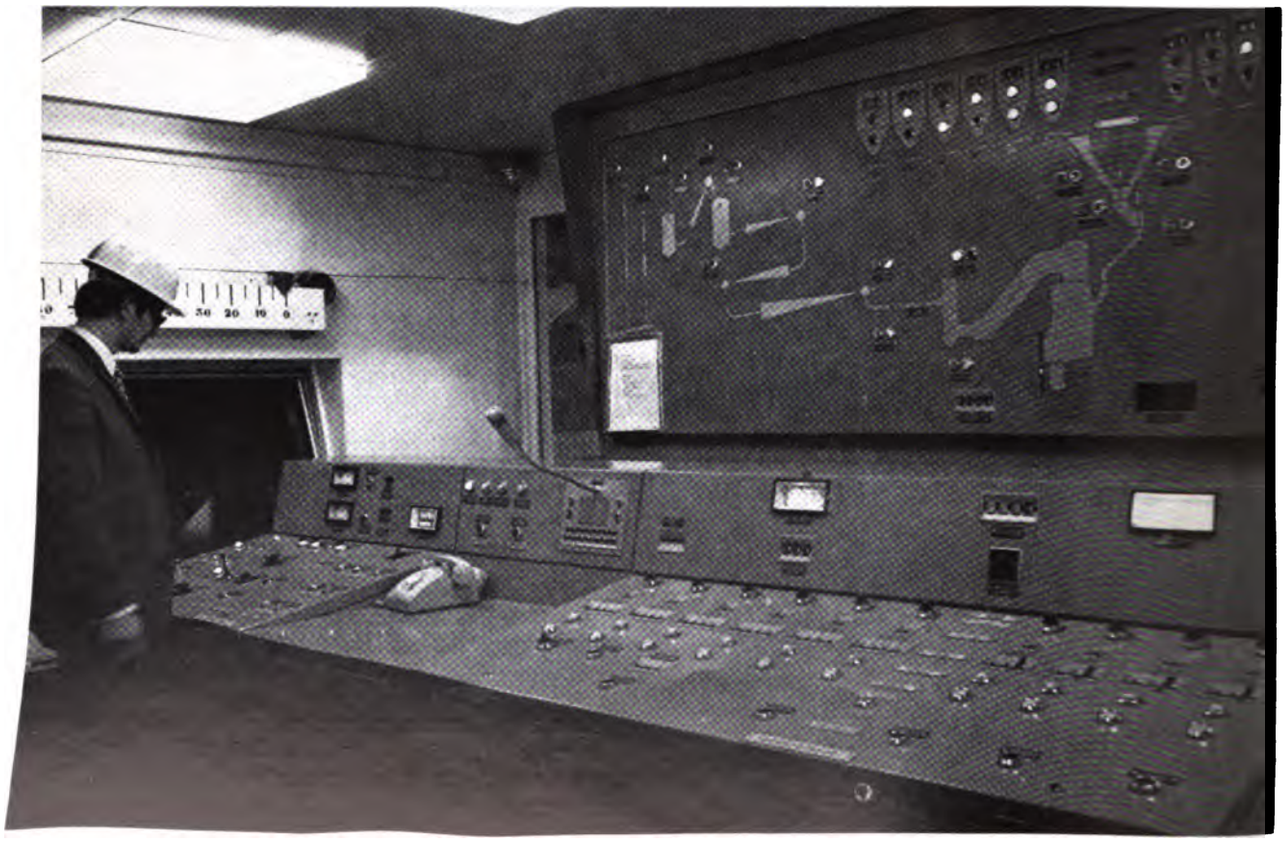


Figure 5. — Dégazage DH : cabine de commande.

Figure 6. — Dégazage DH.

a coulée en lingotières étant considérée comme épannage a été réduite au plus simple et ne et d'écouler que la production d'un four.

a coulée est effectuée sur cars disposés sur voies perpendiculaires à l'axe de la halle, le ulage se fait dans la halle d'expédition.

DÉGAZAGE (fig. 5 et 6)

Le procédé DH a été retenu. Pour la première fois en Europe, on a installé le dispositif d'échange rapide des cuves de dégazage : deux cuves identiques sont montées sur un chariot qui peut les placer alternative-

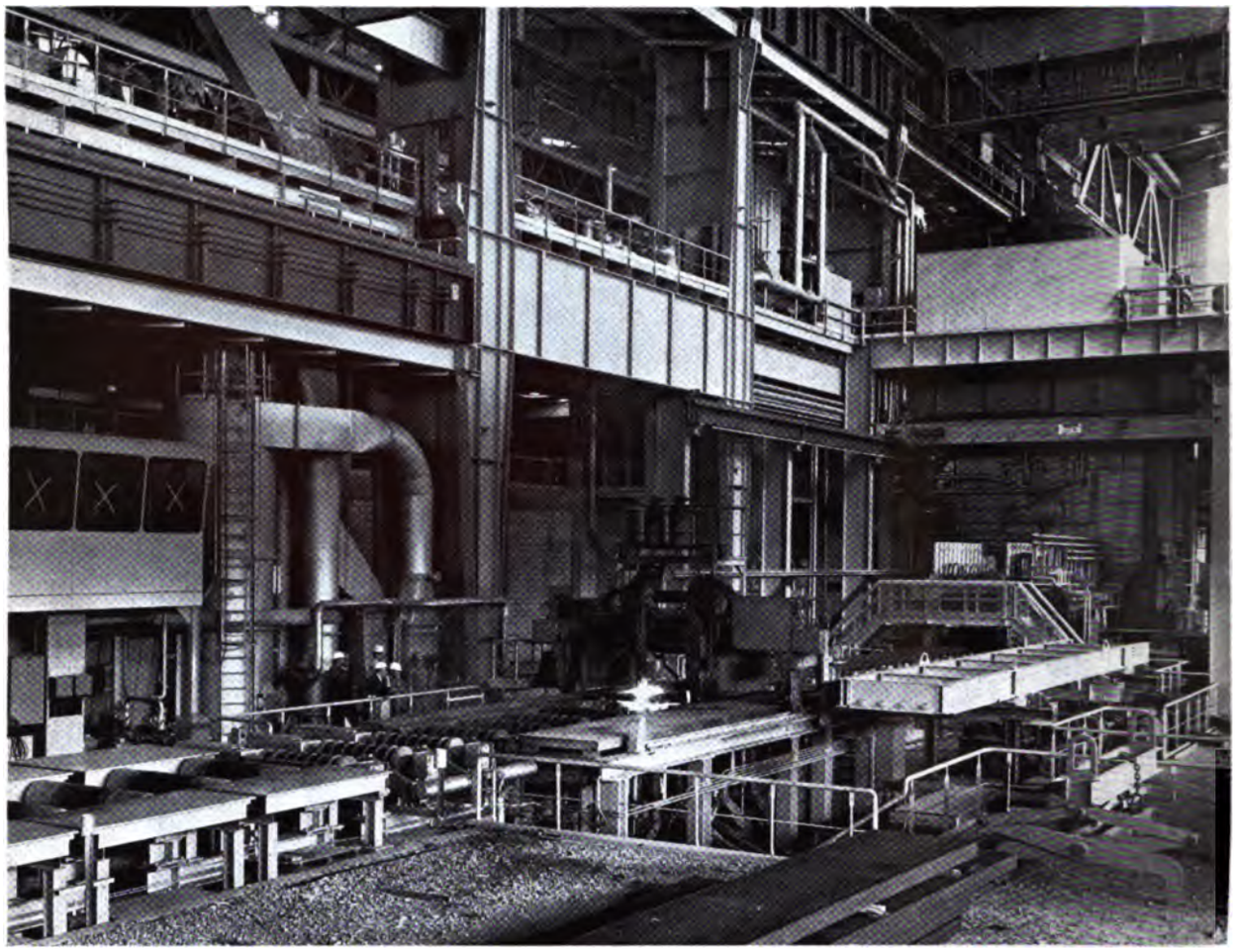


Figure 7. — Coulée continue : section sortie et oxycoupage.

ment en position « dégazage » (elles sont alors dans l'axe du chariot transbordeur de la poche, et raccordées au circuit de vide), ou en positions « réfection » ; dans ces dernières positions, la cuve peut être chauffée par un brûleur oxy-gaz, alors qu'en position dégazage elle est maintenue à 1 500°C par un chauffage électrique à résistance de graphite.

Un chariot de manœuvre se déplace au-dessus du chariot des cuves et facilite l'accès et l'entretien de la trompe d'aspiration.

La poche est élevée par un système de vérin hydraulique. Un groupe de 10 trémies permet des additions sous vide synchronisées avec les mouvements du métal dans la cuve.

Le système de vide comprend 5 étages d'éjecteurs à vapeur plus un préévacuateur, alimentés en vapeur à 12 bars.

Performance :

40 kg/h	sous	0,1	torr
125 kg/h	sous	0,5	torr
250 kg/h	sous	1	torr
1 000 kg/h	sous	10	torrs
2 000 kg/h	sous	200	torrs

COULÉE CONTINUE (fig. 7)

Elle est capable de couler des brames de 600 à 1 550 mm de large, de 145 à 165 mm d'épaisseur. En principe, on ne coule qu'une seule brame ; toutefois pour les faibles largeurs (600 à 675 mm), on peut installer un bloc médian dans la lingotière et couler deux brames jumelles.

La lingotière est constituée de plaques de cuivre refroidies ; elle permet un réglage rapide de la largeur de brame. La machine est du type courbe, la lingotière et les 5 zones de refroidissement secondaire étant disposées selon un quart de cercle de 10,50 m de rayon. La machine d'extraction est constituée de 10 paires de rouleaux.

Le mannequin est placé dans un châssis dont la position de repos est parallèle aux rouleaux de sortie de la machine et à côté de ceux-ci.

Le dispositif d'oxycoupage est situé au-delà de l'emplacement du mannequin ; ceci augmente la longueur de la brame située dans la machine entre lingotière et chalumeau et facilite l'optimisation de la découpe.

Les chalumeaux sont équipés d'un dispositif d'injection de poudre de fer pour le tronçonnage des aciers inoxydables : un dépoussiérage (débit 100 000 m^3/h) évacue les fumées rousses.

Les paniers répartiteurs sont maçonnés dans la halle du dégazage au niveau 11,40 m ; ils sont ensuite disposés sur l'un des deux chariots porte-paniers et peuvent être maintenus en chauffage jusqu'au moment de l'ouverture de la busette à tiroirs. Tous les aciers sont coulés par une busette immergée. Il est également possible de placer un tube sous la busette de poche pour éviter tout contact avec l'air d'aciers dégazés particulièrement sensibles à l'oxydation.

Refroidissement : tous les réseaux d'eau (lingotières et différentes zones de refroidissement secondaire) sont commandés et contrôlés à partir d'une cabine de commande située au niveau 11,40 m.

A la sortie de la machine de coulée continue, une batterie de 6 couveuses, d'une capacité de 80 t chacune, permet de réaliser un refroidissement lent des qualités fragiles aux chocs thermiques.

TRAITEMENT DES INFORMATIONS ET AUTOMATION (*)

Les enquêtes menées dans diverses aciéries modernes et auprès des constructeurs d'ordinateurs ont conduit aux conclusions principales suivantes :

— Le contrôle de l'énergie électrique nécessite un ordinateur en ligne ; il est rentable.

— Le contrôle par ordinateur de toutes les opérations entraine une méthode et une discipline très profitable pour l'aciérie.

— Les objectifs initiaux confiés à l'informatique ne doivent pas être trop ambitieux sous peine de perturber le démarrage de l'aciérie, mais ils doivent être capables de développements au fur et à mesure que les procédés de fabrication sont mieux connus.

— La mise en œuvre efficace de l'ordinateur implique une centralisation des données et des ordres qui se répercute sur la structure même de l'aciérie : mécanisation de toutes les manutentions et raccordements de l'ordinateur à toutes les bascules et points de chargement.

Calculateur et périphériques.

Le centre de calcul entièrement protégé par une cage de Faraday comprend :

— une unité centrale Siemens 305 à 16 K mots de 24 bits,

— un mémoire à disque 1,792 million de mots,

— lecteur de carte, perforateur, imprimante rapide,

— les équipements d'entrées et sorties industrielles,

— le centre de calcul qui peut être utilisé en ligne pour le contrôle de procédé et hors-ligne pour la mise au point et le traitement des programmes.

Les emplacements des différents périphériques sont reportés sur la *figure 8*.

Objectifs de l'automation.

1 — Surveillance de l'appel d'énergie électrique : Compte tenu de la puissance consommée par le reste de l'usine, par le four en affinage et du contrat E.D.F., l'ordinateur contrôle le four en fusion et le déleste en agissant soit sur le commutateur en charge, soit sur la remontée des électrodes, soit en dernière urgence sur le disjoncteur.

2 — Calcul des charges : La composition de la charge initiale du four est optimisée hors ligne (ainsi que la planification des approvisionnements). Les résultats sont mémorisés et réutilisés en ligne pour commander et suivre le chargement des paniers dans les parcs à ferrailles et par les trémies de stockage (recherche de la matière, positionnement du chariot peseur, extraction, pesée, déchargement dans le panier).

3 — Liaison en ligne avec le spectromètre et calcul des additions finales four et dégazage.

4 — Conduite du four et établissement des feuilles de coulées ; un pupitre très complet permet le dialogue ordinateur-fondeur.

(*) Ce chapitre a été développé dans un article de MM. J. Aujean et J.P. Bocquet. *Automatisme* (décembre 1971).

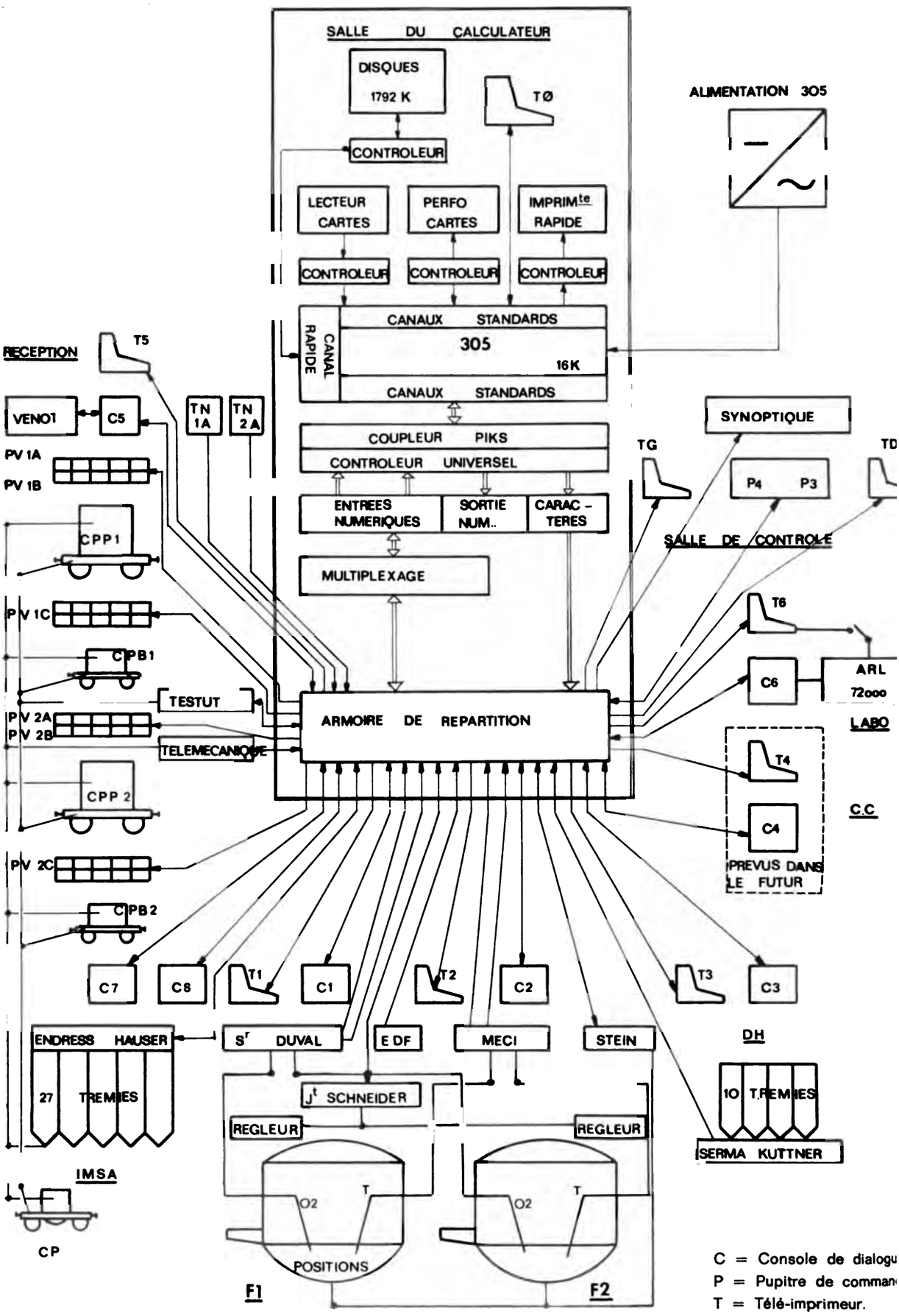


Figure 8. — Schéma symbolique de l'automatisme central.

5 — Gestion des stocks et comptabilité matières.

6 — Ultérieurement. guide opérateur complet.

Démarrage de l'aciérie.

Après deux coulées d'acier au carbone destinées à cuire la sole et éprouver l'équipement électrique, l'aciérie a effectué sa première coulée d'acier inoxydable le 16 décembre 1971. La production comprend uniquement des aciers inoxydables coulés en lingots :

décembre 1971	967 t
janvier 1972	4 030 t
février 1972	4 481 t
mars 1972	8 259 t

Le dégazage et la coulée continue ont démarré le 19 avril 1972.

Barres rondes obtenues par coulée continue centrifuge à Decazeville.

nouvelles techniques en matière de coulée continue aux aciéries de Decazeville

L. Lambert, J.L. Gatelais, J. Basilis
Société des Aciéries et Usines Métallurgiques de Decazeville

Communication présentée aux "Journées Métallurgiques d'Automne 1972" organisées par la Société Française de Métallurgie.

Intégrée dans une mini-usine située dans le sud-ouest de la France, l'aciérie de Decazeville a été construite en 1969 et produit actuellement 80 000 t/an de barres rondes obtenues par coulée continue.

Les auteurs décrivent successivement les techniques originales mises en œuvre :

- *l'agglomération des minerais avec refroidissement sur grille,*
- *l'aciérie équipée de 2 creusets LD de 15 t,*
- *les 3 fours à induction à canal sous vide permettant le maintien, le réchauffage, la désoxydation et la mise à nuance du métal,*
- *les 3 machines de coulée continue centrifuge à une ligne.*

Les ronds obtenus, dont le diamètre peut varier de 85 à 160 mm, sont en majeure partie destinés à alimenter un laminoir pour tubes sans soudure implanté à proximité immédiate de l'aciérie.

Leur état de surface résultant essentiellement des techniques de coulée mises en œuvre, leur propreté interne, liés à une pureté exceptionnelle du métal de base, ont permis d'orienter le développement des ventes vers d'autres marchés et notamment ceux de la forge et de l'estampage, de la frapppe à froid et de l'extrusion, du tréfilage fin, etc. et, en général, vers les produits en aciers au carbone ou alliés devant répondre à des exigences sévères.

INTRODUCTION

La Société des Aciéries et Usines Métallurgiques de Decazeville (A.U.M.D.), filiale à parts égales de Creusot-Loire et des Houillères du Bassin du Centre et du Midi, vient de procéder récemment à la mise en exploitation d'une aciérie LD axée essentiellement vers la production de ronds pour tubes, coulés sur machines de coulée continue centrifuge.

Cette nouvelle activité, qui est venue s'intégrer dans un ancien complexe industriel, permet aujour-

d'hui (*) de réaliser un chiffre d'affaires hors taxe de l'ordre de 80 millions de francs avec un effectif total, pour les services d'exploitation, administratifs et commerciaux, de l'ordre de 1 000 personnes.

Le financement de cette aciérie a été facilité par les Pouvoirs publics dont l'attention avait été attirée par la nécessité de redonner un sang nouveau à une région traditionnellement industrielle, mise en situation de sous-emploi par la récession des mines de charbon.

Comme généralement pour les mini-usines, la recherche d'optimisation des résultats a conduit à la mise en place d'un certain nombre de techniques de pointe.

Celles-ci, peut-être connues, mais non encore expérimentées industriellement en 1967, époque de la conception de cette usine, concernent notamment :

— l'agglomération sur grille,

— le traitement particulier du métal alimentant les machines de coulée continue,

— la coulée continue centrifuge de produits ronds permettant de se dispenser de toute installation de parachèvement.

Cet ensemble d'équipements permet d'assurer la production selon le circuit indiqué *figure 1*. Certains principes ont nécessité des choix relativement osés à l'époque de la conception.

(*) Indépendamment de cette aciérie, la société exploite une fonderie d'acier d'une capacité mensuelle de 400 à 500 t et des ateliers de mécanique et chaudronnerie.

Antérieurement à la création de l'aciérie, la production de fonte hématite de moulage produite par le haut fourneau était en totalité commercialisée directement.

Le but de cette communication est de décrire nos techniques spécifiques, d'en commenter les résultats et de mettre en évidence la validité de nouveaux concepts sidérurgiques.

Après avoir exposé les principes généraux mis en œuvre lors de la conception des installations, nous décrirons ces techniques et commenterons les résultats obtenus.

PRINCIPES GÉNÉRAUX

La décision de créer l'aciérie de Decazeville a été prise en fonction des données sociales, économiques et commerciales de la région ainsi que des solutions techniques projetées pour s'adapter à ces dernières.

Les données de base étaient les suivantes :

— Problème social posé par la récession minière.

— Relatif isolement géographique, pénalisant notamment de frais de transports prohibitifs les ronds à tubes destinés à l'approvisionnement de la tuberie de l'usine Vallourec de Decazeville.

— Existence d'un haut-fourneau dont l'exploitation en fonte hématite de moulage était fortement compromise par l'évolution du marché.

— Résultats encourageants obtenus sur une installation prototype de coulée continue centrifuge expérimentée par la Société Métallurgique d'Imphy et Vallourec.

— Existence, dans un périmètre relativement proche, d'une cokerie et d'une mine de fer capable de fournir un minerai hématite d'excellente qualité.

— Faibles disponibilités régionales en ferrailles.

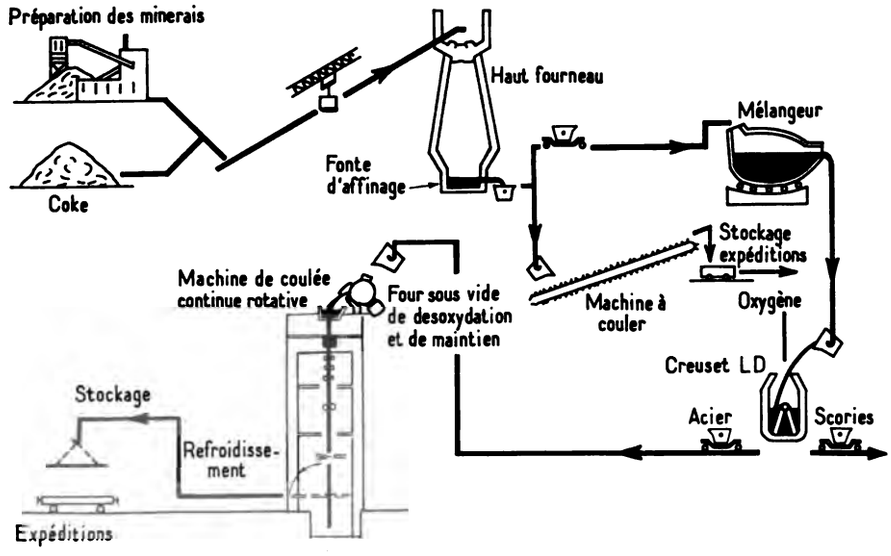


Figure 1. — Circuit de fabrication.

Les solutions techniques devaient de plus tenir compte, d'une part, du fait que la capacité de production devait être de l'ordre de 60 000 t/an, d'autre part, de la nécessité de livrer un produit apte à la transformation en tubes sans soudure et d'orienter tout développement ultérieur vers des produits de haute qualité.

Pour ce faire, les solutions adoptées ont été les suivantes :

Au niveau de l'élaboration du métal.

Les données de base (peu de ferrailles, existence d'un haut fourneau, disponibilités coke et minerai, exigence de pureté en éléments résiduels) nous ont conduits à rejeter la solution du four électrique, classique pour les mini-usines, et à nous orienter vers la conversion de la fonte.

Les impératifs économiques d'approvisionnement des minerais et de sécurité d'exploitation découlant de la marche à un seul haut fourneau ont conduit à préparer les charges sur une chaine d'agglomération.

La disponibilité de fonte hématite produite au haut fourneau a conduit à convertir celle-ci en acier par le procédé LD.

Au niveau de la coulée.

La nécessité de livrer des demi-produits en ronds de 90 à 150 mm de diamètre et la faible capacité de l'usine excluaient la solution lingot-blooming.

Toutefois, les difficultés rencontrées habituellement pour l'obtention d'un demi-produit rond répondant à certains critères techniques et économiques ne nous ont pas permis de retenir les solutions classiques et nous avons dû nous orienter vers une technique originale, celle de la coulée continue centrifuge expérimentée par les services d'études et recherches de la Société Métallurgique d'Imphy et de Vallourec.

Au niveau de l'alimentation de la coulée continue.

La solution classique d'alimentation directe par poche a été exclue du fait :

— de la faible capacité unitaire mise en œuvre (15 t),

— du débit des machines de coulée (12 t/h),

— de nos conceptions métallurgiques en matière de qualité (exigences de régularité thermique et analytique),

— de notre gamme prévisionnelle de fabrication (additions importantes de ferro-alliages).

Il est donc apparu nécessaire d'intercaler entre le creuset LD et la coulée continue une installation capable de fournir le métal dans les conditions métallurgiques et thermiques requises pour la coulée continue.

Le choix s'est porté sur le four à induction à canal à fréquence du réseau, alors en cours d'expérimentation à l'Institut de Recherches de la Sidérurgie Française.

Ce four, construit par C.E.M./B.B.C. (*) a donc pour mission :

— de maintenir la température, éventuellement de l'augmenter et de la régler avec précision,

— de fondre des additions, et notamment de permettre une mise à la nuance dans des fourchettes très étroites,

— de dégazer et de désoxyder le métal par traitement sous vide,

— d'assurer un brassage du métal et de faciliter la décantation des inclusions,

— d'éviter les pertes de métal en cas d'incident au niveau de la coulée continue.

Nous examinerons ultérieurement tout l'intérêt que peut présenter ce dernier avantage dans le cadre des mises au point.

Le choix de ces solutions techniques s'est répercuté sur les capacités de production et notamment au niveau du haut fourneau.

C'est ainsi que la production de celui-ci, compte tenu de ses caractéristiques technologiques et de la qualité de son enfournement, a vu son minimum technique de marche porté à l'équivalence de 80 000 t d'acier, son maximum pouvant dépasser 120 000 t.

Les installations amont et aval ont alors été définies comme suit (en équivalence acier) :

— agglomération . . . . . 120 000 t sur 11 mois

— aciérie LD . . . . . 140 000 t

— machine coulée continue . 80 000 t

Il suffit donc de faibles investissements au niveau des fours à canal et machine de coulée pour porter la capacité de 80 000 à 120 000 t d'acier ; l'emplacement pour ce développement a d'ailleurs été réservé en surface couverte.

L'augmentation à 80 000 t de la production, initialement projetée de 60 000 t, a nécessité par ailleurs la recherche de nouveaux marchés.

Ceux-ci, compte tenu des caractéristiques qualitatives particulières des produits, ont été orientés vers les ronds en aciers fins au carbone ou alliés.

(*) Constructeur : Compagnie Electro-Mécanique, licenciée de Brown Boveri pour les inducteurs.

PRÉSENTATION DE L'EXPLOITATION DU SECTEUR SIDÉRURGIQUE

Nous mentionnerons tout d'abord certaines caractéristiques originales de nos équipements constituant l'amont de notre chaîne sidérurgique.

Nous avons été, en effet, les premiers en Europe Occidentale à utiliser le refroidissement sur grille pour l'agglomération des minerais.

Notre chaine, d'une capacité de 500 à 600 t/j, a été construite par la Société Delattre-Levivier ; elle est essentiellement caractérisée par :

— son faible niveau d'investissement (pas de refroidissoir),

— sa haute productivité (43 à 45 t/m^2.j),

— son faible entretien (barreaux de grille, hérisson, etc.).

Ce sont notamment ces différents critères qui ont conduit récemment deux grandes sociétés européennes à opter pour cette solution plutôt que pour les solutions classiques (1).

Aciérie proprement dite (fig. 2 et 3) (2).

Installée dans 3 halles parallèles sur une surface totale couverte de 4 730 m^2, cette aciérie comprend notamment :

Dans la halle n° 1

— un mélangeur basique de 300 t ;

— deux creusets LD à ceinture indépendante de 10 m^3, d'une capacité sur garnissage neuf de 15 t.

Ces derniers sont équipés d'un système de dépoussiérage humide Waagner Biro garantissant une teneur en poussière des fumées inférieure à 80 mg au Nm^3.

L'oxygène nécessaire à l'exploitation est fourni par une centrale de 1 200 Nm^3/h construite par l'Air Liquide et exploitée par l'usine ;

— les engins de manutention et de pesées permettant d'établir les bilans métal à tous les stades d'opération.

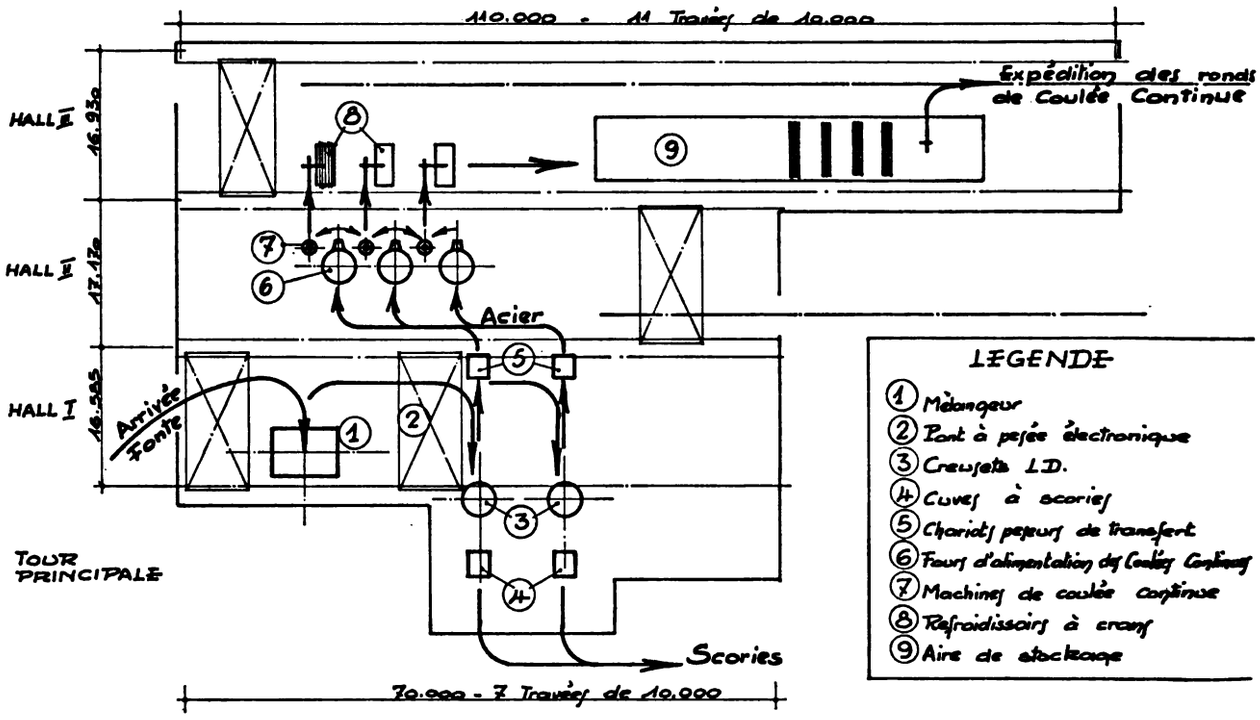


Figure 2. — Plan schématique de l'aciérie.

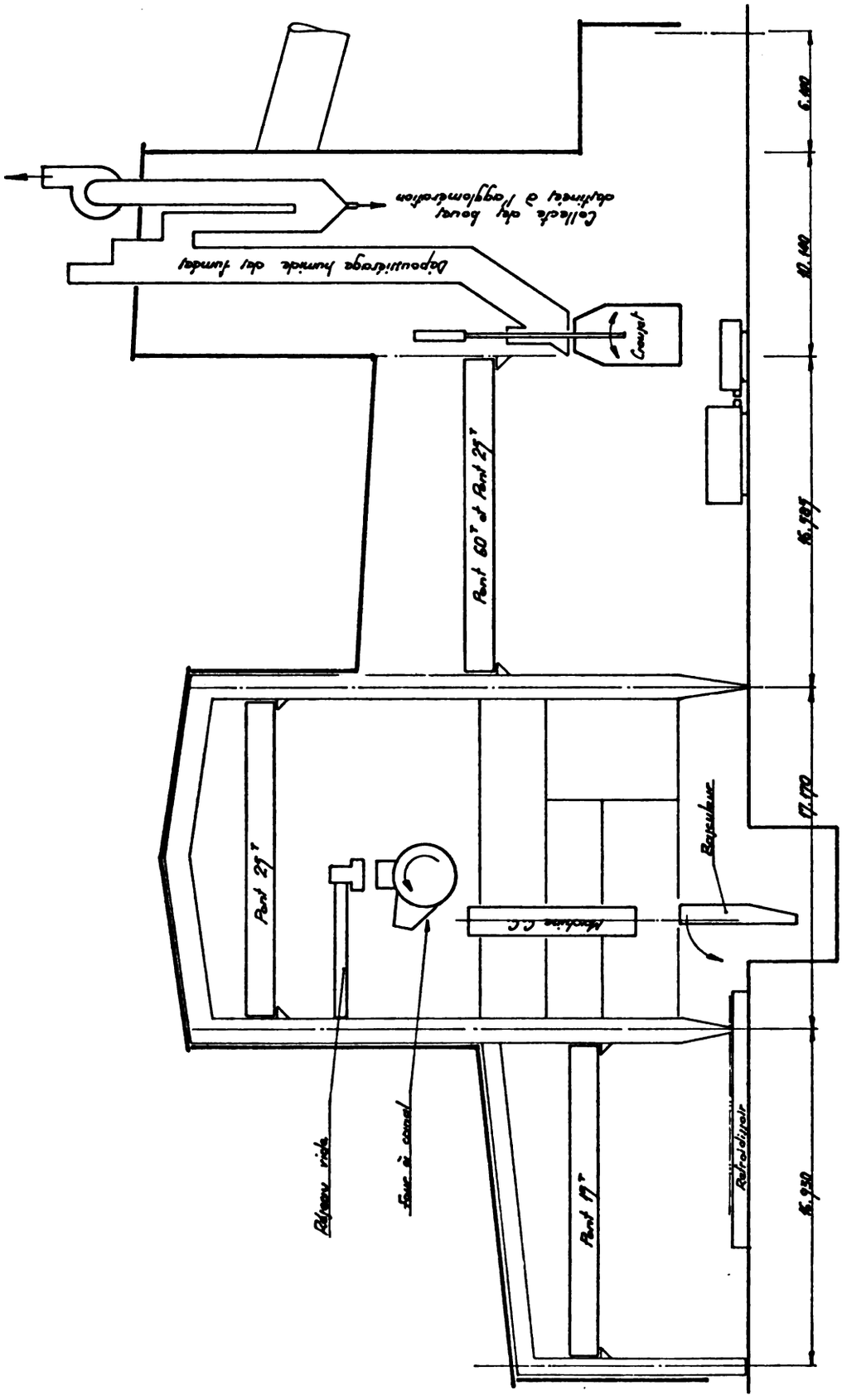


Figure 3. — Aciérie. Coupe transversale.

Figure 4. — Vue d'ensemble des fours à canal.

Dans la halle n° 2 :

a) Les 3 fours à induction à canal (fig. 4) qui alimentent les machines de coulée et dont les caractéristiques essentielles sont les suivantes :

— capacité unitaire : 15 t utiles + 3 t de pied de bain ;

— puissance unitaire installée : 900 kVA ;

— inducteurs à canal, licence Brown-Boveri : 1 par four, démontable, puissance : 800 kW, tension : 240 V, fréquence : 50 Hz (réseau), batterie de condensateurs de 1 110 kVAR ;

— capacité de surchauffe à 1 600°C : 0,8°C/mn pour 18 t à 800 kW ;

— puissance de maintien à température : 380 kW pour 18 t ;

— capacité de fusion d'additions : variable selon addition, correspond à la capacité de surchauffe ;

— revêtement réfractaire :

- couche d'usure : béton magnésien,
- couche de sécurité : briques de magnésie-chrome,
- couche isolante : briques silico-alumineuses isolantes.

Ces fours, qui basculent en avant et en arrière par vérins hydrauliques, sont montés sur un secteur tournant afin de pouvoir alimenter l'une ou l'autre des machines de coulée, situées à proximité et assurer ainsi des coulées séquentielles par l'intermédiaire d'un tundish (fig. 5 et 6).

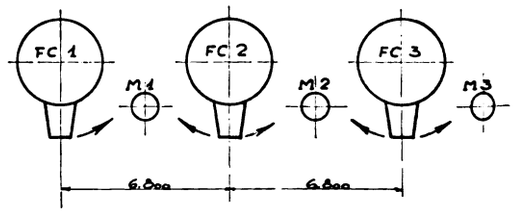


Figure 5. — Coulée continue. Disposition four-machine.

Figure 6. — Opération de coulée d'un des fours à canal dans l'une des machines de coulée continue centrifuge.

) Une installation de vide.

:elle-ci est composée de 2 collecteurs de vide, éjecteurs à vapeur et de 2 condenseurs.

haque collecteur, qui a été conçu pour desservir ıativement 2 fours, vient par un mouvement de on « coiffer » l'un ou l'autre de ces fours.

La capacité d'aspiration de 130 kg/h sous 1 torr et 25 kg/h sous 0,3 torr permet de travailler régulièrement à des pressions de l'ordre de 0,3 torr.

c) Des équipements d'alimentation en métal liquide assurant la liaison four-machine et comprenant (fig. 7 et 8) :

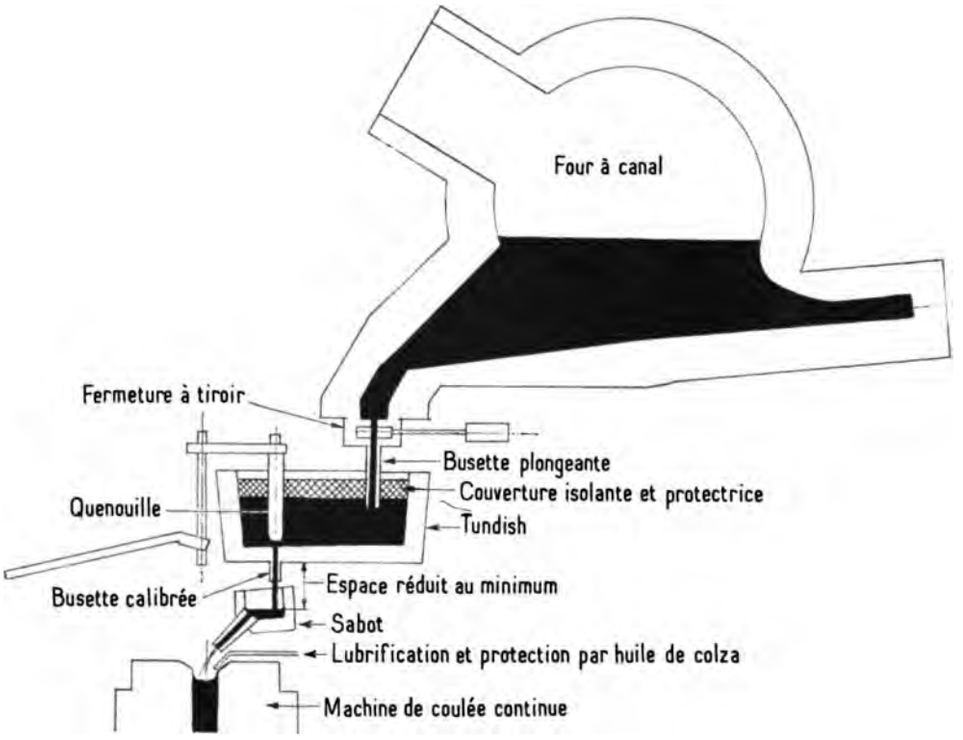


Figure 7. — Schéma d'alimentation de la machine C.

Figure 8. — Détail de l'alimentation des lingotières de coulée continue centrifuge (avec bec du four à canal, tundish, sabot, lingotière). Le geste de l'ouvrier décrasseur a laissé une trainée claire.

— Le tundish :

D'une capacité de 800 kg de métal, il est alir à partir du four par une busette à tiroir prolc d'un tube immergé qui assure la protection d de coulée contre toute oxydation. La surface du est elle-même protégée en permanence par une verture de laitier synthétique.

Par l'intermédiaire d'un système à quenouill froidie à l'air) le tundish alimente et régule le de coulée en lingotière.

— Le sabot :

Cette pièce réfractaire, située entre le tundi la lingotière de coulée continue, permet l'aliment tangentielle de celle-ci.

d) Les machines de coulée continue centrifi

Ces machines, au nombre de 3, ont été constr sous licence S.C.E.C. (Société Civile d'Etude Centrifugation), filiale commune de la Société M lurgique d'Imphy (maintenant Creusot-Loire) e Vallourec.

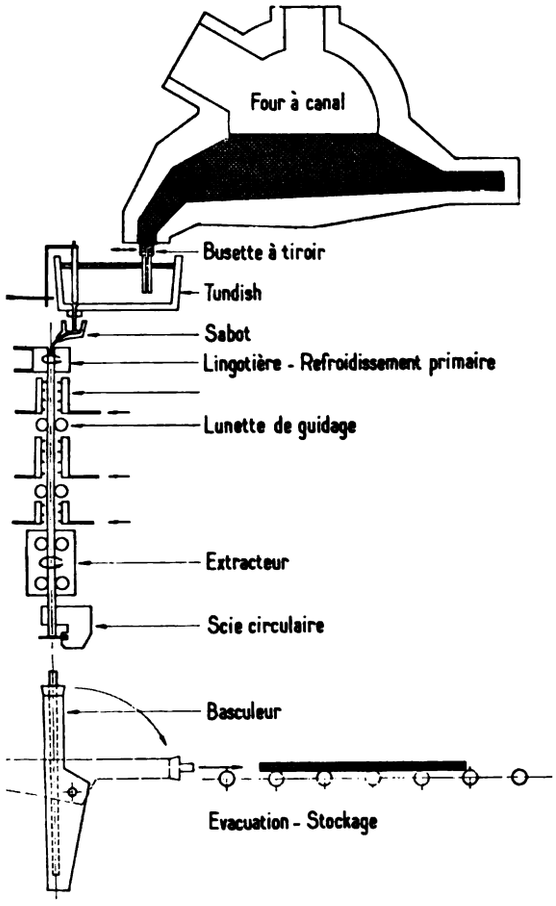


Figure 9. — Schéma du circuit de coulée continue.

La principale caractéristique du procédé S.C.E.C. ısiste en la mise en rotation de la lingotière et de ıtracteur, donc de la barre (3) (4) (5).

Cette rotation exclut tout cintrage et les machines nt, de ce fait, verticales.

Elles se composent des éléments suivants (fig. 9) :

Lingotières :

Les lingotières utilisées, du type monobloc, sont en cuivre pur ou légèrement allié. Leur longueur est de 300 mm ou de 500 mm. Elles sont animées d'un mouvement de rotation de 50 à 150 tr/mn et d'un mouvement d'oscillation sinusoïdal. Le refroidissement est assuré par une circulation d'eau de qualité contrôlée (50 m^3/h).

Mécanisme de mise en rotation.

Les parties tournantes (lingotière, lunettes, xtracteur, pinces de serrage) sont entraînées en rotation par un seul moteur (30 CV). La transmission synchrone est assurée mécaniquement par jeu de cardans.

- Le refroidissement secondaire.

A la sortie de la lingotière, la barre est refroidie par pulvérisation d'eau dans 3 zones de 4 rampes de gicleurs à cône plein.

Entre ces zones, la barre est soutenue par deux lunettes de guidage tournantes.

- Système d'extraction.

Animé d'un mouvement de rotation synchrone avec la lingotière et les lunettes, il comprend deux paires de galets réglables en position et entraînées par deux moteurs à courant continu, alimentés par un collecteur à bague.

- Système de débitage.

Le débitage de la barre en tronçons de 4 à 6 m est assuré par un équipement de sciage à chaud monté sur un support de coupe.

Les scies, d'un diamètre de 660 mm, sont entraînées par un moteur de 50 CV ; leur vitesse périphérique est de 100 m/s.

- Basculeur.

Il permet de ramener les tronçons débités en position horizontale et les éjecte sur un évacuateur à rouleaux.

Un sélecteur à vis commande le cycle automatique de coupe et permet le respect de tolérance de longueurs serrées.

- Refroidissoir.

A chaine à vitesse variable, il assure un refroidissement homogène par rotation de la barre, permettant ainsi le respect de faibles tolérances de rectitude sans dressage mécanique ultérieur.

Investissements.

Le niveau d'investissements, qui est l'une des caractéristiques essentielles des mini-usines, se situe, pour ces nouvelles installations, à une position des plus compétitives.

En effet, ramené à la tonne annuelle, le coût global de l'agglomération, de l'aciérie, de la coulée continue et des installations annexes, n'a pas dépassé 300 F.

Il y a lieu toutefois de remarquer :

— que les investissements complémentaires pour porter la production à 120 000 t/an se limitent aux équipements four-machine de l'aciérie ;

— que le niveau des crédits disponibles n'a pas permis d'effectuer la totalité des investissements nécessaires à l'optimisation de l'exploitation.

Nous ne voudrions pas passer sous silence que la totalité de l'ingéniérie de cette nouvelle usine a été réalisée *intra muros* grâce à une étroite collaboration entre les responsables du Bureau d'études, du Service métallurgique et du Service exploitation.

RÉSULTATS OBTENUS : EXPLOITATION

Le démarrage.

Le démarrage de cet ensemble a, compte tenu de son originalité, demandé beaucoup de temps.

Entre les premières coulées sur machines et l'obtention du palier mensuel de 5 000 t, il s'est écoulé 15 mois.

La production atteignait 7 000 t/mois 7 mois plus tard.

Indépendamment des problèmes posés par la mise au point industrielle de techniques originales et la coordination de celles-ci, les facteurs les plus significatifs des délais de démarrage ont été les suivants :

Défaillances initiales des fours à canal.

Ces fours de maintien ont, dès leur mise en service, posé de graves problèmes d'adaptation et de mise au point. Il a fallu successivement au cours des 15 premiers mois :

— modifier la position des inducteurs,

— revoir la conception de leur garnissage afin de disposer en toute certitude de deux fours en production,

— surveiller et renforcer les dispositifs de basculement.

A ce sujet, la coopération avec l'IRSID a été déterminante dans les décisions correspondantes et, après de nouvelles et importantes modifications actuellement en cours, nous pensons disposer d'appareils fiables et efficaces.

Formation du personnel.

Nous insistons particulièrement sur l'importance de ce dernier facteur.

Nos installations n'ont réellement atteint leur production de croisière que lorsque le personnel, à tous les niveaux, a pu maitriser totalement les techniques qu'il mettait en œuvre et, par là même, se sentir « bien dans sa peau ».

Il n'en reste pas moins que les difficultés techniques du démarrage ont été en grande partie résolues grâce à la confiance de toute une équipe dans ces techniques nouvelles et à l'impérative nécessité de production dans une installation exempte de tout moyen de dépannage : coulée en lingots, forge ou blooming, etc.

Organisation de la production.

La production est assurée avec un seul creuset LD (l'autre étant en réfection ou en réserve), deux fours à canal au moins (le troisième étant en réfection), deux machines de coulée au moins (la troisième étant, soit en révision, soit en réserve).

En résumé, le schéma de production normale est le suivant :

— un creuset LD, dont la capacité de production mensuelle est de 13 000 t, alimente deux fours à canal ;

— chacun des fours alimente une machine de coulée continue, dont la capacité de production unitaire est de 3 800 t/mois environ ;

— les goulots d'étranglement sont donc au niveau four-machine, l'aciérie LD est entièrement au service de ces derniers.

On pourra remarquer :

— que le cycle d'enfournement des deux fours à canal par un seul creuset LD pose des problèmes de planification et de synchronisation,

— qu'un incident au niveau du creuset LD affecte la totalité de la production des machines de coulée continue.

De ce fait, toutes les installations amont des machines de coulée doivent présenter le maximum de sécurité de marche.

Les capacités tampons, telles que le mélangeur et les fours à canal, représentent toutefois une sécurité non négligeable.

Nous nous proposons maintenant d'exposer les performances et résultats actuellement obtenus pour un mois-type de 30 jours avec une production de 7 000 t, tout en précisant d'ailleurs que les progrès actuellement en cours devraient permettre, dans un proche avenir, d'améliorer ces performances.

Résultats d'exploitation par section.

Aciérie LD.

a) Analyse moyenne de la fonte et de l'acier LD.

	C (%)	Mn (%)	Si (%)	S (%)	P (%)
Fonte à l'enfournement	4,30	2,32	0,50	0,048	0,058
Acier (1) Rabattement LD	0,12 (2)	0,47	—	0,013	0,011 (3)

(1) Le métal élaboré au LD est mis à la nuance au four à canal. La nuance finale est seulement approchée en C et Mn au niveau du LD.

(2) 20 % des coulées s'effectuent par arrêt direct sur le carbone visé.

(3) Déphosphoration obtenue avec une teneur de 21 % de FeO dans les laitiers.

b) Ratios.

Compte tenu de la faible fréquence de coulée (une coulée toutes les 80 mn environ), du tonnage unitaire de 15 t et de la haute température finale visée, les ratios principaux de consommation sont les suivants :

— enfournement ferrailles 138 kg/t acier

— minerais . . . . . 15 kg/t acier

— chaux , ... 52 kg/t acier

— oxygène . . . . . 47 Nm^3/t acier (vitesse de soufflage : 55 Nm^3/mn, soit 3,76 Nm^3/t.mn)

— rendement fer $\frac{\text{fer total enfourné}}{\text{fer liquide poche}} = 95{,}1\ \%$

Les températures de rabattement obtenues sont en moyenne de 1 674°C, avec un écart type de 6 à 7°C.

Ce résultat est obtenu grâce à un rabattement intermédiaire pour contrôler la température et la teneur en carbone du bain.

Le pourcentage de coulées sursoufflées est de 1,7 %.

c) Tenue des garnissages.

Le garnissage standard est en dolomie enrichie et permet des campagnes de 412 coulées en moyenne, soit une consommation de réfractaire de 7,7 kg/t.

Des essais en briques de magnésie ont permis d'atteindre 712 coulées (5,9 kg/t).

Bien que notre capacité surpuissante au niveau du creuset LD ne justifie pas *a priori* un garnissage de magnésie, la recherche d'une sécurité maximale à ce niveau, par une disponibilité plus grande en cas d'incident, peut nous conduire à adopter la magnésie.

Fours à canal (6) (7).

La neutralité physico-chimique du chauffage inductif, le traitement sous vide, la stabilité de l'atmosphère qui limite l'oxydation, la bonne connaissance et la fidélité des vitesses de chauffage en fonction des puissances mises en jeu permettent :

— un rendement fidèle des additions, donc une grande précision du réglage analytique ;

— une évolution de l'analyse du métal en fonction du temps particulièrement faible (moins de 0,01 % C et de 0,02 % Si par heure) ;

— un réglage aisé de la température, dont la précision est principalement limitée par celle des mesures par thermo-couples à immersion.

Les éléments d'exploitation les plus significatifs sont les suivants :

a) L'ensemble des opérations de chargement du four, décrassage, chauffage, traitement sous vide, mise à la nuance avec addition, préparation des coulées, dure 45 mn.

Le déroulement d'une opération type est décrit en annexe.

La consommation électrique des fours à canal ressort en moyenne mensuelle à 90 kWh/t acier.

La conduite de l'élaboration de l'ensemble des deux fours en fonctionnement est assurée par une équipe de 3 hommes :

— 1 opérateur (pour les deux fours),

— 2 fondeurs (1 par four).

Pendant le temps d'élaboration, un ouvrier assure le montage de la busette à tiroir.

b) Tenue des réfractaires.

Les campagnes actuelles du garnissage d'usure sont de 97 jours (90 à 113 jours) pendant lesquelles le four est soumis au métal liquide et au laitier sans interruption.

Les consommations de réfractaires correspondant à ces durées de campagnes sont respectivement :

— 1,35 kg/t acier de béton magnésien d'usure,

— 1,14 kg/t acier de produits de réparation à chaud par pistolage.

Les couches de sécurité en chrome-magnésie durent entre 3 et 5 campagnes avec des réparations très partielles après chacune d'elles.

Durant une campagne de four, on remplace en moyenne 3 fois l'inducteur à chaud (durée actuelle moyenne : 25 jours).

Cette opération immobilise le four pendant environ 13 heures.

La consommation de béton magnésien correspondante est de 0,63 kg/t acier.

Il est à noter que les modifications en cours, étudiées avec l'IRSID, doivent permettre d'améliorer très sensiblement ces performances.

c) L'immobilisation mensuelle moyenne d'un four en service pour entretien et pannes représente 40 h (sur 720 h d'exploitation) qui peuvent se décomposer ainsi :

— changement d'inducteur .. .. 34 %

— changement de briques de siège de la fermeture à tiroir .. .. 22 %

— pistolage et entretien réfractaire .. .. .. 18 %

— incidents mécaniques et électriques .. .. 26 %

Le taux de disponibilité, hors réfection de garnissage, est donc de 94,5 %.

Machines de coulée continue centrifuge.

La coulée continue (2 machines en exploitation) est desservie au total par 12 hommes, y compris les manutentionnaires. Un poste de travail est spécifique du procédé mise en œuvre : celui de « décrasseur », Cet ouvrier évacue par coalescence sur un outil froid les scories qui se sont rassemblées en lingotières, au creux du ménisque formé par le métal en rotation.

Les principaux résultats d'exploitation sont les suivants :

a) Production horaire (hauteur métallurgique : 7,50 m).

Les productions horaires maximales obtenues sont de 14 t/h sur la durée d'une coulée.

La production maximale instantanée est de 14,5 t/h.

La moyenne mensuelle, fortement pénalisée par les petits diamètres et les aciers durs ou alliés, est de 11,40 t/h.

b) Tonnage unitaire par coulée.

Le poids moyen d'une coulée est de 12,100 t, ce qui inclut l'ensemble des incidents d'exploitation. Le temps de coulée moyen correspondant est de 64 mn.

On remarquera que le fait de ne disposer que d'une seule ligne entraîne l'arrêt complet de la coulée dès qu'il y a incident, mais le four à canal permet :

— de ne pas perdre le métal liquide restant à couler,

— de le conserver, tant au point de vue thermique qu'analytique,

— de reprendre l'exploitation de la machine sans perte de temps, le métal étant immédiatement disponible.

c) Décomposition des incidents.

Ils varient en fonction des diamètres et de la nuance des produits.

Pour les diamètres supérieurs à 120 mm en acier XC 10, 89 % des coulées sont terminées sans aucun incident (percées = 1,5 %).

Pour les diamètres inférieurs à 110 mm en acier mi-doux ou dur, le pourcentage des incidents augmente (percées = 5 %). La durée de coulée visée peut alors atteindre 100 mn.

Ces longues durées de coulées ne sont possibles que grâce au maintien de la température dans le four à canal.

En dehors des percées, les causes principales d'incidents sont, par ordre d'importance décroissant : la tenue des réfractaires, les incidents mécaniques ou électriques, les fautes d'inattention ou de soin.

Ces taux de réussite concernent des machines à une seule ligne. Le fait de disposer, par exemple, de deux lignes conduirait à des pourcentages de réussite supérieurs à 95 %.

d) Mise au mille.

La mise au mille totale entre acier liquide en poche au niveau du LD et les ronds commercialisés est de 1 061. Elle se décompose ainsi :

— Entrées poche LD à sortie four à canal = 1 007.

(La poche LD, préchauffée à 1 000°C, remplie d'acier à 1 675°C au rabattement et rapidement vidée par le bec, a une mise au mille très faible. Par contre, le décrassage du four à canal conduit à des pertes de métal).

— Sortie four à canal à sortie machine = 1 038.

Ce poste comprend principalement : tundish non vidé suite à incident, scraps de tundish, projections, une partie des battitures, débitage à la scie.

— Sortie machine à rond vendu = 1 015.

Ce poste comprend : chutage de la tête et du mannequin, solde des battitures, tous rebuts et chutages accidentels.

— En dehors de ces chutages, les barres ne subissent strictement aucun parachèvement.

e) Coulée continue séquentielle.

Elle n'est normalement utilisée que lorsqu'une machine de production est momentanément indisponible.

Sans changer de tundish, ni de quenouilles, ni de busettes, notre record de coulée en continu est de 4 h 45 mn. Néanmoins, dans l'état actuel du contrôle des réfractaires de coulée, ces performances restent aléatoires.

Résumé et conclusion partielle.

La production de 7 000 t/mois est réalisée par deux ensembles four-machine en 578 coulées de 12,100 t. Chaque cycle complet de coulée dure donc en moyenne 149 mn. Ces 149 mn se décomposent ainsi :

— Attente de métal LD (poste qui inclut les incidents du LD, les défauts de synchronisation, les incidents à la coulée continue qui conduisent à arrêter la coulée plus tôt que prévu alors que l'approvisionnement du métal LD était programmé pour plus tard).	11 mn
— Elaboration du métal au four	45 mn
— Incident au four	8 mn
— Fin de préparation four à début de coulée en machine	4 mn
— Durée de coulée en machine de coulée continue	64 mn
— Incidents de coulée continue (nettoyage après percées, entretien, incidents mécaniques ou électriques)	11 mn
— Incidents non imputables à l'aciérie en particulier manque de fonte, manque d'oxygène, etc.	6 mn
	149 mn

Il s'agit, rappelons-le, de moyennes mensuelles, valables pour une producton moyenne, tous incidents inclus (contrairement au déroulement d'une coulée type décrit en annexe).

L'examen critique de ces résultats suffit à prouver que notre usine peut encore faire des progrès. On peut néanmoins déjà affirmer que les techniques mises en œuvre ont répondu à ce que l'on attendait d'elles et que les ratios que nous venons d'indiquer doivent donc conduire à des résultats économiques acceptables, si toutefois la qualité permet de satisfaire les besoins de la clientèle, ce que nous allons analyser maintenant.

QUALITÉ DES PRODUITS

Caractéristiques des ronds fabriqués.

Les ronds de coulée continue que nous fabriquons sont principalement caractérisés par :

— Leur pureté analytique en éléments résiduels.

— Leur état de surface, qui ne nécessite aucun parachèvement, même pour les exigences les plus sévères.

— Leur propreté interne.

— Leur structure transversale.

— La régularité de leurs caractéristiques analytiques et mécaniques au sein d'une même coulée et d'une coulée à l'autre.

Il est très significatif que cet ensemble de caractéristiques est en liaison directe avec la gamme d'élaboration : aciérie LD, appareil nuanceur et de maintien en température, coulée continue centrifuge.

Pureté en éléments résiduels.

C'est une conséquence du cycle minerai, haut fourneau, aciérie LD. L'enfournement du haut fourneau en minerai pyrénéen de Batère, l'absence d'utilisation de ferrailles du commerce au niveau LD, conduisent à des teneurs en éléments indésirables particulièrement basses (Cu < 0,030 %, somme des autres éléments métalliques < 0,05 % ; As < 0,015 %).

De plus, le LD conduit à des basses teneurs en N_2 et H_2 et la haute teneur en manganèse de la fonte favorise considérablement la désulfuration.

La contrepartie de ces basses teneurs est, à l'analyse en C - Si - Mn égale, une diminution de la résistance d'environ 1,2 kg/mm^2.

Etat de surface.

L'état de surface obtenu ne nécessite aucun parachèvement et satisfait aux exigences les plus sévères, comme par exemple celles de la frappe à froid.

Cette qualité de surface est spécifique de la coulée continue rotative, qui permet, grâce à la force centrifuge, de déposer en premier sur la paroi froide les cristaux les plus purs.

Propreté interne.

Mesurée par des laboratoires extérieurs, elle apparait comme satisfaisante. Par exemple, pour l'acier XC 42, la teneur en inclusions est de 568.10^{-6} et 88 % d'entre elles ont une taille inférieure à 2 μ. Pour l'acier 16 NC 6, ces valeurs sont respectivement de 705.10^{-6} et 86 %.

Cette propreté est due :

— au dégazage sous vide,

— à la bonne décantation des inclusions dans le four à canal (durée, brassage inductif),

— à la coulée continue centrifuge, qui, par la formation d'un ménisque en lingotière, permet de rassembler les crasses au fond de ce ménisque et de les éliminer (fonction de l'ouvrier « décrasseur »).

Structure transversale.

Elle est sensiblement peu différente de celle des coulées continue statiques.

Les trois zones de cristallisation (peau, zone dendritique et zone équiaxe) se retrouvent, mais leur importance relative est différente, notamment la zone équiaxe centrale est plus développée. Par suite, si la porosité centrale existe, elle est d'importance relativement faible.

Aucune ségrégation significative n'a été mise en évidence et la tendance à la structure en bandes est particulièrement faible.

Par ailleurs, l'ovalisation négligeable permet de respecter sans difficultés les normes pour demi-produits.

Homogénéité longitudinale et d'une coulée à l'autre.

La bonne régularité des caractéristiques analytiques et mécaniques entre début, milieu et fin de coulée, classique en coulée continue, est conservée.

Les qualités de nuanceur du four à canal améliorent même cette régularité pour les raisons suivantes :

— régularité de la température entre début et fin de coulée ;

— brassage inductif ;

— grande précision de la mise à la nuance permettant le respect de fourchettes très serrées.

Ces paramètres permettent de plus une excellente homogénéité qualitative et, de ce fait, autorisent certains groupages des coulées.

Liés à la pureté en éléments résiduels, ces avantages conduisent à des réponses très fidèles au traitement thermique.

Nuances élaborées.

Le programme actuel de fabrication comporte environ 80 % de nuances au carbone pour tubes (principalement grades A — B — C, respectivement à 0,10, 0,17 et 0,33 % de carbone).

Les autres nuances testées en clientèle, régulièrement ou pour caractérisation, concernent :

— les aciers fins au carbone, XC 10 à XC 80 ;

— les aciers de construction légèrement alliés au chrome, nickel-chrome, chrome-molybdène, nickel-chrome-molybdène, manganèse, manganèse-silicium ;

— certains aciers spéciaux (en particulier du type inoxydable).

Résultats en clientèle.

Nous nous bornerons à faire état de l'opinion de nos principaux clients :

Tubistes (français et étrangers).

Les taux de réparations et les taux de rebuts après transformation sont équivalents, sinon meilleurs, à ceux obtenus à partir des ronds écroûtés provenant d'acier électrique ou Martin.

Les conditions techniques de transformation sont particulièrement favorables.

Estampage.

« Les ronds bruts livrés remplacent avantageusement les ronds laminés à partir de métal électrique ».

Frappe à froid (visserie, à partir de fils).

« Le pourcentage de rebuts est inférieur à celui obtenu à partir du métal classique. La fabrication est particulièrement régulière et les vis finies satisfont totalement aux divers cahiers des charges. »

Fil dur pour tréfilage fin.

Pour les applications les plus sévères, « les résultats sont comparables à ceux obtenus en marche courante ». La précision du réglage analytique, l'absence d'éléments résiduels nocifs, l'état de surface et la propreté sont particulièrement appréciés.

Aciers à roulements.

Les résultats de transformation (laminage ou estampage), les niveaux de propreté et de santé des pièces sont jugés très encourageants après les premiers essais.

Conclusion partielle.

Les résultats obtenus dans le domaine de la qualité métallurgique nous ont conduits à orienter notre développement des ventes vers les produits devant répondre à des exigences sévères : forge, estampage, frappe à froid, extrusion, tréfilage fin, etc.

Le jugement favorable de la clientèle dans ces différents secteurs montre tout l'intérêt des principes d'élaboration mis en œuvre à Decazeville pour la qualité des produits livrés.

CONCLUSION

Démarrées fin 1969, les nouvelles installations sidérurgiques de Decazeville ont atteint, 15 mois après, le niveau de production initialement fixé.

Les résultats que nous venons d'exposer montrent que :

— les performances actuelles peuvent être encore améliorées, notamment le niveau de production de 7 000 t/mois ;

— dès maintenant, les ratios techniques obtenus aux différentes étapes de la fabrication permettent d'assurer la rentabilité de l'entreprise ;

— le niveau de qualité a permis d'orienter le développement des fabrications vers des produits devant répondre à des exigences sévères, comme par exemple la frappe à froid ou le tréfilage fin ;

— les techniques mises en œuvre, aussi bien à l'agglomération et au four de maintien à canal, qu'à la coulée continue centrifuge, ont répondu et au-delà aux prévisions.

Ces performances ont déjà conduit de nombreuses sociétés à s'intéresser à l'une ou l'autre de ces techniques et en particulier :

— à l'agglomération (haute productivité et bas coût de fabrication) ;

— au four à canal sous vide (poche améliorée à vide chauffant permettant l'obtention d'un métal de base de qualité pour un coût relativement bas) ;

— à la coulée continue centrifuge (dont la production est caractérisée par un état de surface ne nécessitant aucun parachèvement, par une santé interne améliorée, par l'absence de criques et par une bonne homogénéité de structure).

Dès à présent, deux grandes chaines d'agglomération européennes seront construites sur les principes de celle de Decazeville et deux sociétés américaine et japonaise ont choisi la coulée continue centrifuge pour leurs nouvelles installations.

De plus, pour une usine devant élaborer des produits de qualité, l'ensemble des solutions originales mises en œuvre avec succès à Decazeville présente, pensons-nous, un intérêt indéniable.

ANNEXE

DEROULEMENT D'UNE OPERATION TYPE

(Nuance XC 10 en ∅ 120)

Temps	Opération
0	Début de chargement du four à canal
5 mn	Prise d'échantillon et de température. Début du décrassage
15 mn	Début des additions de réglage
23 mn	Début du vide
37 mn	Vide cassé
38 mn	Prise d'échantillon et contrôle de température
45 mn	Four prêt à couler
49 mn	Début de coulée en machine
119 mn	Fin de coulée en machine
122 mn	Début de chargement de la coulée suivante

Le montage de la busette à tiroir se fait entre la 5e et la 23e minute.

La machine se prépare à couler (remontée du mannequin, ancrage, mise en place du réfractaire) au cours de l'élaboration au four : ces opérations durent environ 20 mn.

La coulée suivante est élaborée au creuset LD entre la 86e mn (début de soufflage) et la 107e mn (début de versée) avec rabattement intermédiaire vers C = 0,8 à 98 mn.

bibliographie

1 ROCHAS (R.), CUVEILLIER (R.). — Communication présentée à la Commission « Commission agglomération sur grille » de l'Association Technique de la Sidérurgie Française, le 10 juin 1970.

2 Association Technique de la Sidérurgie Française. Visite des aciéries et usines métallurgiques de Decazeville par la Commission « coulée continue » de l'A.T.S. (19 novembre 1971).

3 BABEL (L.), DEDIEU (J.). — Un nouveau procédé de coulée continue de ronds en acier. *Sciences et Techniques*, n° 4 (novembre-décembre 1966).

4 MOLA (M.). — La coulée continue et centrifuge des ronds en acier. *La Technique Moderne* (décembre 1970).

5 BARTHELEMY (J.), DELBEY (M.), GATELAIS (J.L.), PEYTAVIN (M.), BABEL (L.), DEDIEU (J.). — Développement du procédé de coulée continue CCC. Communication présentée aux Journées Métallurgiques d'Automne (1972) de la Société Française de Métallurgie.

6 BASILIS (J.), ANTOINE (J.). — Possibilités métallurgiques d'un nuanceur à acier. Utilisation d'un four à canal. Séminaire C.E.S.S.I.D. sur les aciéries électriques, Saint-Etienne (octobre 1968).

7 ANTOINE (J.), SAUVAGE (F.), BONIS (P.L.). — Principaux résultats du four à induction à canal d'aciérie. Congrès d'Electrothermie dans l'affinage des métaux (Comité Français d'Electrothermie), Versailles (1971).

modernisation du train continu de 720 de l'usine de Réhon

L. Warzée
Ingénieur principal, Cockerill-Ougrée-Providence et Espérance-Longdoz S.A. (Réhon)

G. de Rousiers
Ingénieur en chef, Cockerill-Ougrée-Providence et Espérance-Longdoz S.A. (Réhon)

La Société Cockerill poursuit avec constance une politique de spécialisation de ses divisions pour tirer le meilleur parti de chaque installation. L'usine de Réhon est orientée vers deux fabrications bien définies : les rails et le feuillard. C'est pourquoi, en 1951, a été monté un train continu à feuillards, le plus moderne à l'époque : le train de 720.

Mais si, dans une industrie lourde telle que la sidérurgie, les installations restaient autrefois compétitives pendant plusieurs décennies, il n'en est plus de même maintenant : l'obsolescence les frappe beaucoup plus rapidement en raison de la croissance du progrès technique. Il est apparu nettement ces dernières années que le train de 720 risquait d'être dépassé par les trains à feuillards plus modernes d'Europe pour répondre aux exigences accrues de la clientèle : il fallait le moderniser en étendant sa gamme de laminage et surtout en doublant au moins le poids de ses bobines.

Or, le train à feuillards de Réhon produit plus de la moitié du feuillard français ; c'est pourquoi, dans le cadre de la convention générale intervenue entre l'Etat et la Chambre Syndicale de la Sidérurgie Française, une convention particulière a été prévue pour rationaliser les fabrications des feuillards entre les usines de la Chiers et de Réhon et assurer une aide financière à la modernisation du train 720 de Réhon.

CARACTÉRISTIQUES DU TRAIN ANCIEN

Avant d'aborder le détail des modifications qui ont été apportées à ce train, rappelons rapidement ses caractéristiques antérieures.

Le train continu mis en service en 1951 permettait de laminer, à partir de brames de 75 mm d'épaisseur, du feuillard de 100 à 600 mm de largeur en bobines de 5 kg par millimètre de largeur. Construit par Loewy, ce train comprenait :

— 2 fours poussants à brames, l'un de 60 t/h, l'autre de 70 t/h, chauffés au gaz de haut-fourneau, enrichis au naphta avec appoint de mazout.

  Ce sont des fours à 3 zones comprenant une rangée de brûleurs supérieure pour la zone de préchauffage, une rangée de brûleurs supérieure et une rangée inférieure dans la zone de plein chauffage et enfin une rangée de brûleurs supérieure dans la zone d'égalisation ;

— 1 refouleuse horizontale permettant d'égaliser la largeur des brames avant le laminage proprement dit ;

— 4 cages dégrossisseuses duo, les deux dernières étant en tandem ;

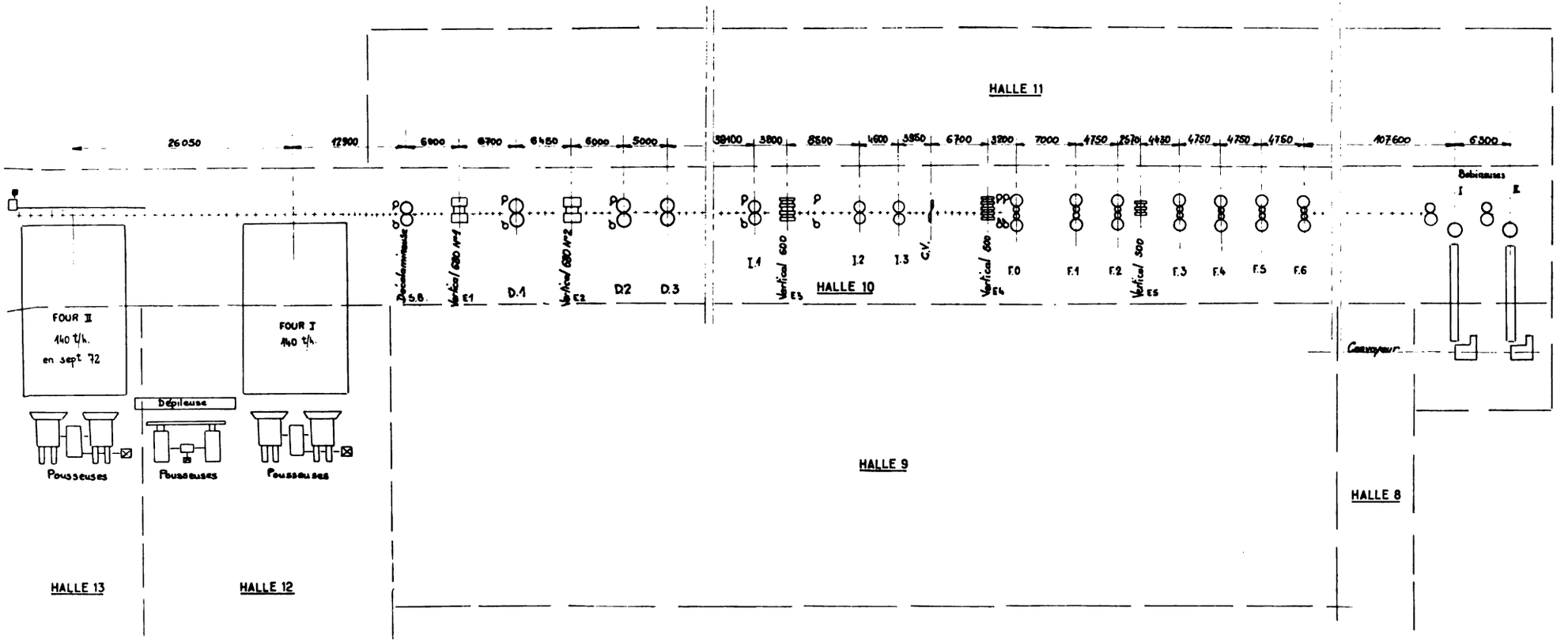

HALLE 11
HALLE 10
HALLE 9
HALLE 8
HALLE 13
HALLE 12
FOUR II
140 t/h.
en sept 72
FOUR I
140 t/h.
Dépileuse
Pousseuses
Pousseuses
Pousseuses
Vertical 600 N°1
Vertical 600 N°2
Vertical 600
Vertical 500
Vertical 500
Bobineuses
I
II
Convoyeur
26050
12900
6900
6700
6450
6000
5000
38400
3800
8500
4600
3950
6700
3200
7000
4750
2570
4430
4750
4750
4750
107600
6500
D.1
D.2
D.3
I.1
I.2
I.3
C.V.
F.0
F.1
F.2
F.3
F.4
F.5
F.6

Figure 1.

ages refouleuses verticales ;

isaille volante ;

:ages finisseuses quarto continues avec une e refouleuse entre les cages F2 et F3 ;

obineuses horizontales.

train a permis d'assurer une production men- de 55 à 60 000 t en fabrication continue à es. Cependant, depuis 1951, l'évolution des ues et les desiderata de la clientèle ont évo- il s'est avéré nécessaire de transformer radi- nt ce train.

ONS TECHNIQUES ET ÉCONOMIQUES NT CONDUIT A LA MODERNISATION DU TRAIN DE 720

t d'abord le train ancien ne livrait que des s d'un poids de 5 kg par millimètre de largeur s de 3 t pour 600 mm de largeur) en partant mes de 8 m de long environ et 75 mm d'épais-

poids unitaire est devenu trop faible et il a doubler pour livrer des bobines plus lourdes ientèle. Celle-ci y trouve un gain appréciable ductivité et de mise au mille. En effet, une faite par un de nos clients lamineur à froid a qu'en passant d'un poids de bobine de 5 à par millimètre de largeur, la productivité aug- de 40 % en raison de la suppression des temps pour l'engagement de la bobine et sa mise au iminue de 25 points, soit de 50 %.

oter que le train modernisé est capable d'aller 13 kg et même 15 kg par mm de largeur.

ailleurs, le train ne pouvait opérer dans les eurs faibles — entre 1,25 et 1 millimètre — ns une partie restreinte du programme : de n à 500 mm de largeur, en raison de la limi- de la puissance des moteurs du train finis-)r, nous avons intérêt à pouvoir livrer en feuil- chaud des épaisseurs faibles en toute lar- ce que ne peuvent faire les trains à larges . Ceci nous conduit à modifier la puissance inage du train finisseur pour inclure dans notre mme la gamme des feuillards minces jusqu'à d'épaisseur.

régularité d'épaisseur est aussi un facteur de pour la clientèle et nous nous devions de pro- r dans l'abaissement des tolérances pour eur tout le long de la bande. Une régulation lique d'épaisseur a été prévue pour améliorer alités dimensionnelles de nos feuillards.

n, une étude de marché nous a permis de er que l'évolution de la consommation de feuillards augmentait de 5 % par an en moyenne bon an, mal an. Pour suivre cette tendance dans les années à venir, il convenait d'une part d'augmenter sensiblement notre capacité de chauffe des fours en les transformant pour doubler leur production, ce que nous faisons actuellement (1972) et, d'autre part, concevoir le nouveau train pour qu'il puisse laminer la production supplémentaire. L'ensemble du train a été étudié pour pouvoir laminer 900 000 t par an, suivant un programme correspondant à la demande future de la clientèle.

C'est à la suite de ces constatations qu'un accord est intervenu entre l'Etat, la Chambre Syndicale de la Sidérurgie et la Société Cockerill.

ÉTAPES DE LA MODERNISATION DU TRAIN DE 720

Le problème qui s'est posé immédiatement a été d'établir un programme permettant les transformations en perturbant le moins possible la production du train malgré une marche à feu continu. Il a été nécessaire de réaliser cette transformation en 3 stades :

— *en décembre 1969 :* suppression du train dégrossisseur ancien et montage de 3 cages intermédiaires, de 2 refouleuses verticales et d'une cisaille volante : arrêt 2 semaines ;

— *en août 1970 :* montage du nouveau train dégrossisseur : 2 cages nouvelles et une ancienne récupérée, 2 cages refouleuses ; montage d'une nouvelle cage finisseuse et commande du train finisseur par moteur de 3 300 CV : arrêt 4 semaines ;

— *entre mai et juillet 1971 :* montage et mise en service des nouvelles bobineuses ;

— *entre juillet et octobre 1971 :* augmentation de la capacité du four I de 60 t/h à 140 t/h (même transformation pour le four II en août 1972).

Tous ces travaux, sauf les nouvelles bobineuses qui se trouvent être dans le prolongement des anciennes, ont été exécutés pendant un arrêt, mais toutes les mises au point ont dû être faites en production normale avec marche à feu continu.

DESCRIPTION DU TRAIN MODERNISÉ
(fig. 1)

Le train est alimenté par 2 fours poussants qui, initialement, étaient capables d'une production totale de 130 t/h. Un des deux fours a été complètement transformé pour porter sa capacité de 60 t/h à 140 t/h (fig. 2). Ce four comprend 5 zones :

— 2 zones de préchauffage supérieure et inférieure, alimentées uniquement en gaz naturel ;

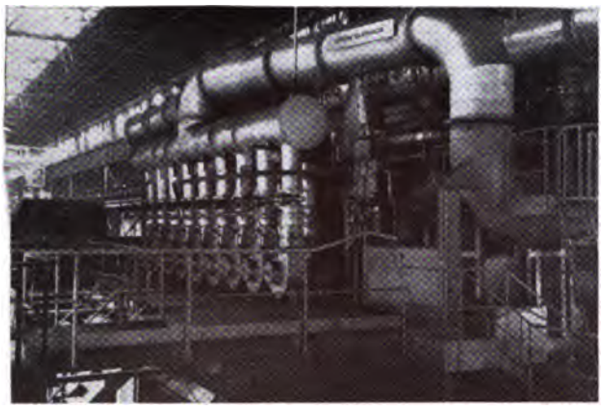


Figure 2. — Four de réchauffage n° 1 capable de 140 t/h.

Figure 3. — Train finisseur : les six dernières cages quarto.

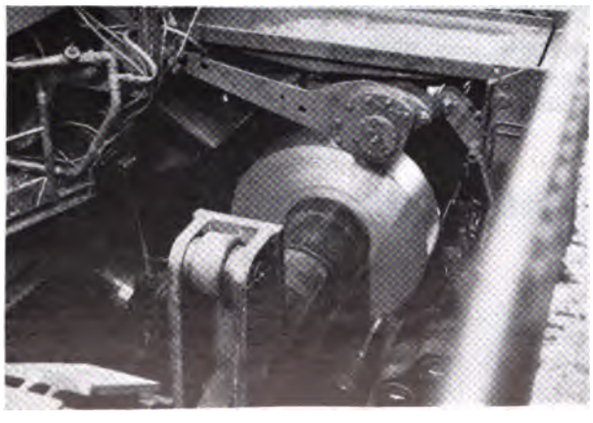


Figure 4. — Bobineuse n° 1.

— 2 zones de plein chauffage supérieure et inférieure, alimentées par un mélange de gaz de haut fourneau enrichi au naphta et de gaz naturel ;

— 1 zone d'égalisation supérieure alimentée par un mélange de gaz de haut fourneau enrichi au naphta et de gaz naturel avec une sole en magmalox. Le gaz de haut fourneau est préchauffé aux environs de 400°C par des récupérateurs métalliques Setrem.

L'air de combustion est préchauffé à 400°C par un récupérateur métallique suspendu Escher.

La même transformation est prévue pour le 2e four en juin/août 1972. Le train proprement dit comprend trois parties :

Le train dégrossisseur, soit :

— une cage brise-oxyde à plat SB,

— une cage refouleuse E1,

— une cage dégrossisseuse D1,

— une cage refouleuse E2,

— une cage dégrossisseuse D2,

— une cage dégrossisseuse D3 récupérée sur l'ancien train.

Cet ensemble permet, à partir de brames de 150 mm d'épaisseur de laminer jusqu'à une épaisseur de 50 mm.

Le train intermédiaire et le train finisseur.

Cet ensemble comprend 10 cages dans lesquelles la barre est prise en continu au cours du laminage.

Nous avons pour le train intermédiaire :

— une cage duo I1 récupérée,

— une cage refouleuse E3 neuve,

— une cage duo I2 récupérée,

— une cage duo I3 récupérée,

— une cisaille volante,

— une cage refouleuse E4 neuve,

et pour le train finisseur (fig. 3) :

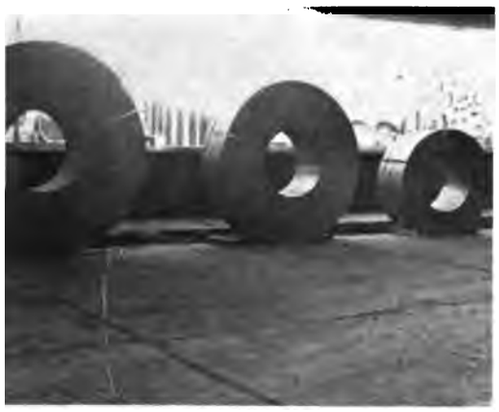
— une cage quarto F0 neuve,

— une fosse à boucles,

— 6 cages quarto F1 à F6.

Toutes les annexes des cages : guides d'entrée, guides de sortie, etc. sont motorisées pour diminuer le temps dû aux changements de dimension et aux démontages.

· 5. — Convoyeur d'évacuation des bobines.



— Poids des bobines : à droite, bobine de 5 kg le largeur laminée sur l'ancien train ; au centre, 10 kg par mm de largeur laminée sur le train ; à gauche, bobine de 13 kg par mm de largeur ur le train actuel dans une certaine gamme de largeur.

ıeuses (fig. 4, 5 et 6).

nentation du poids des bobines a conduit à on de nouvelles bobineuses situées au-delà ınnes, à 107 mètres de la dernière cage finis- es nouvelles bobines conçues suivant les perfectionnements de la technique ont été ıs aux ateliers Cockerill à Seraing sous oewy.

ıont capables de bobiner des rouleaux allant 15 kg par millimètre d'épaisseur, soit un ıximum de 9 t ; le diamètre intérieur des bobines est de 600 mm et le diamètre extérieur actuel de 1,470 m pour bobine de 10 kg par mm de largeur, un convoyeur ramène les bobines vers le centre de la halle des magasins pour leur évacuation.

Toute cette modernisation a été accompagnée de modifications profondes dans les annexes du train :

— l'alimentation électrique a été améliorée par l'adjonction d'un 2e transformateur de 25 MVA, d'un groupe de générateurs à thyristors et le remplacement au train finisseur de moteurs de 2 000 CV par des moteurs de 3 300 CV ;

— le réseau d'eau a été modifié pour mieux assurer :

- le refroidissement des cylindres,
- l'arrosage de la bande à la sortie du train avant bobinage ;

— le laminage au train finisseur a été amélioré par l'adoption d'une régulation de vitesse sur les moteurs, de la modification des tendeurs et contre-tendeurs de boucles entre cages et d'une régulation d'épaisseur.

PROGRAMME DE LAMINAGE

Le *tableau I* donne le programme que réalisait le train ancien.

Le *tableau II* indique le nouveau programme actuel.

CAPACITÉ DE PRODUCTION

Le train ancien était capable d'assurer une production de 600 000 t par an, soit une moyenne mensuelle de 55 000 t environ.

La modernisation du train, telle qu'elle a été prévue dans le plan professionnel, permet une augmentation de production estimée à 5 % en raison de la diminution du temps mort entre le passage des barres.

Par contre, la transformation des fours pour augmenter la puissance de chauffe de 60 ou 70 t/h à 140 t/h permettra une augmentation de la production de 50 %. Suivant un programme normal comportant une proportion de 26 % de feuillard à épaisseurs inférieures à 2 mm, le train est capable de 900 000 t/an, soit une moyenne mensuelle de 80 à 85 000 t par mois.

Déjà actuellement, où nous avons un seul four transformé, nous avons laminé 201 068 t durant les trois premiers mois de 1972, soit une moyenne mensuelle de 67 000 t par mois.

TABLEAU I : Programme de l'ancien train 720.

Largeurs (mm)	Epaisseurs minimales en mm suivant la résistance des aciers			
	Moins de 45 kg de R par mm²	45 à 64 kg de R par mm²	65 à 90 kg de R par mm²	Plus de 90 kg de R par mm²
100 à moins de 150	1,25	1,35	1,50	1,75
150 à moins de 200	1,25	1,50	1,75	2
200 à moins de 300	1	1,50	1,75	2
300 à moins de 400	1	1,75	2,25	2,75
400 à moins de 500	1,25	1,75	2,25	2,75
500 à 600	1,50	2	2,50	3

Epaisseur maximale : 12 mm.

Poids des rouleaux : environ 5 kg par mm de largeur.

Diamètre intérieur des rouleaux : 600 mm environ.

TABLEAU II : Programme théorique actuel.

Largeurs (mm)	Epaisseurs minimales en mm suivant la résistance des aciers			
	< à 45 kg par mm²	45 à 64 kg	65 à 90 kg	> 90 kg
200 à 300	1,25	1,50	1,50	1,75
301 à 400	1,00	1,50	1,50	2,00
401 à 450	1,00	1,75	1,75	2,00
451 à 500	1,00	1,75	1,75	2,00
501 à 520	1,00	2,00	2,25	2,50
521 à 600	1,00	2,00	2,25	2,50

Epaisseur maximale : 12 mm.

Poids des rouleaux : 10 kg par mm de largeur pouvant aller à 12,5 kg et même 15 kg pour certaines largeurs.

Dimension intérieure des bobines : 600 mm.

PARACHÈVEMENT DES FEUILLARDS

Avant la modernisation du train, l'usine de Réhon possédait dans son parachèvement :

— 2 lignes de décapage à l'acide sulfurique, capables de 7 000 t/mois ;

— 1 ligne de refendage, capable de 12 000 t/mois ;

— 1 ligne de coupe à longueur très ancienne, capable de 500 à 800 t/mois.

La modernisation du train a conduit à modifier sensiblement le parachèvement :

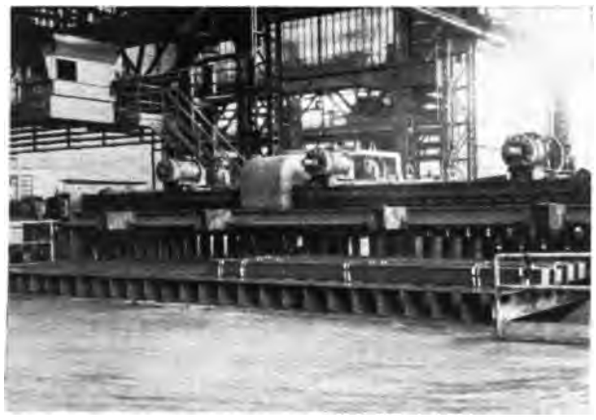


Figure 7. — Parachèvement du feuillard : dressage et coupe à longueur. Vue sur la réception des barres droites et de la mise en paquets.

— Tout d'abord il était nécessaire d'adapter les lignes au nouveau poids de bobines et, en conséquence, de changer les dérouleurs et enrouleurs de chaque ligne, ce qui a été fait au décapage et à la ligne de refendage.

— Ensuite, pour répondre à une demande accrue de la clientèle en barres droites avec tolérances réduites en longueur, une ligne neuve de dressage et coupe à longueur s'imposait ; une nouvelle ligne a été implantée, capable de 3 000 t/mois en marche à 1 poste par jour avec bobine de 10 kg/mn. Elle dresse des bandes jusqu'à 600 mm de largeur, l'épaisseur variant de 1 à 12 mm pour l'acier doux. La longueur des barres peut atteindre 9 mètres.

— Enfin, notre capacité de refendage était insuffisante : avec notre ligne ancienne, en marche à feu continu, on ne pouvait obtenir qu'une production de 12 à 14 000 t/mois. La productivité de cette ligne était freinée spécialement dans les épaisseurs minces puisque la vitesse maximum est limitée à 100 mètres à la minute.

Pour augmenter la capacité de refendage, on a spécialisé cette ligne dans les épaisseurs fortes dépassant 3 mm, ce qui, joint à l'augmentation du poids des bobines, augmente considérablement sa production. Elle est capable de produire, toujours à feu continu, de 15 à 18 000 t/mois suivant le programme. Une nouvelle ligne de refendage a été installée pour les feuillards minces allant de 1 à 3 mm d'épaisseur. Cette ligne travaille à une vitesse de :

— 300 m par minute pour les épaisseurs $\leqslant$ 2 mm,

— 200 m par minute pour les épaisseurs comprises entre 2 et 3 mm.

La capacité de production de cette ligne est de 2 500 t par mois en marchant à 1 poste.

Signalons enfin que les deux lignes de décapage ont augmenté leur productivité de 40 % passant de 300 t/jour en moyenne à 420 t/jour par le seul fait de traiter des bobines de 10 kg par millimètre de largeur au lieu de 5.

Ainsi, l'ensemble du parachèvement des feuillards a été sensiblement modernisé puisque Réhon possède maintenant :

— 2 lignes de décapage capables de 10 000 t à 12 000 t/mois à 3 postes,

— 2 lignes de refendage dont une neuve spécialisée pour les feuillards minces capables de 20 000 à 25 000 t/mois à 3 postes,

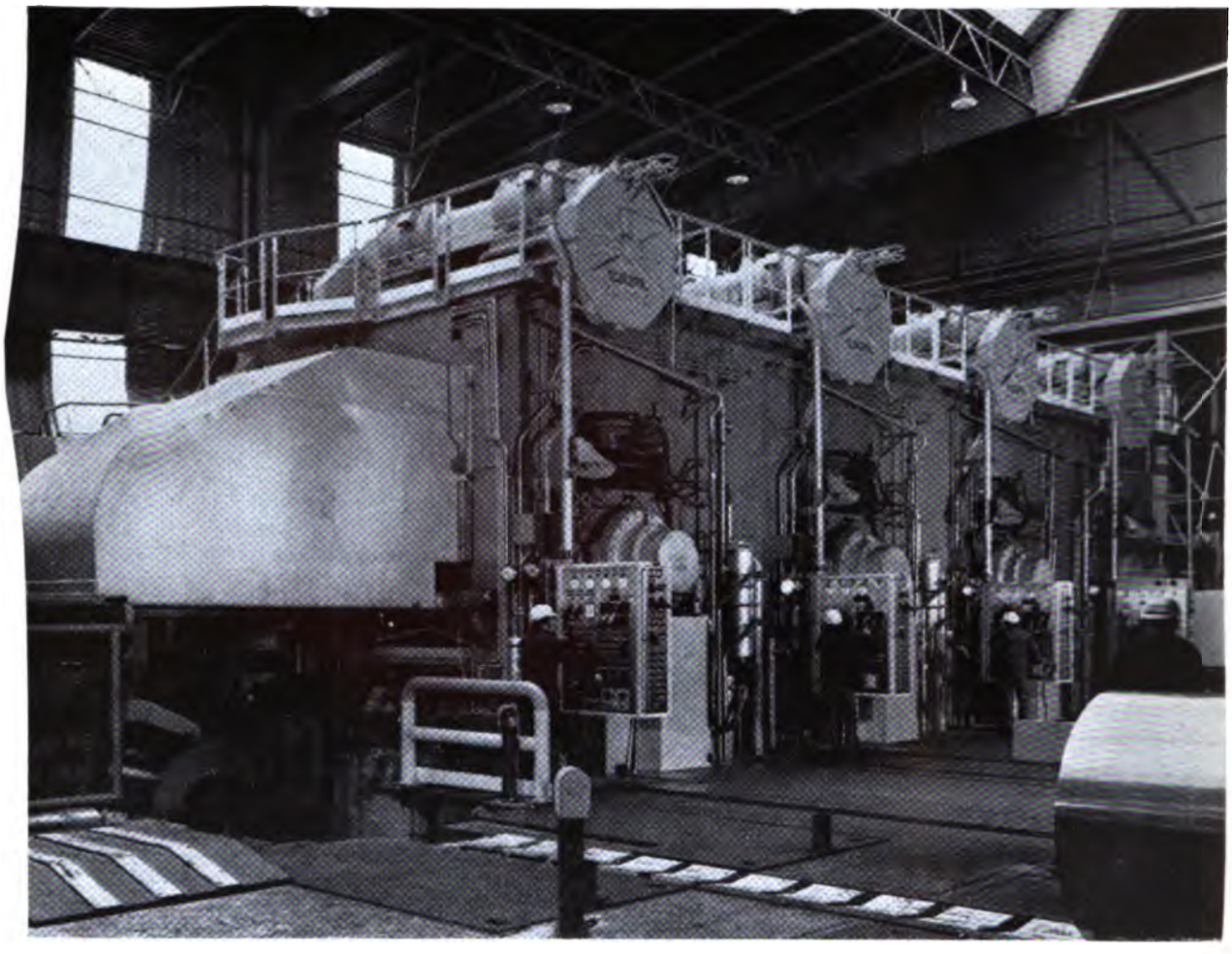
— 1 ligne neuve de dressage en barres droites et mise à longueur capable de 3 000 t/mois à un poste (fig. 7).

CONCLUSION

L'usine de Réhon possède maintenant un outil valable, permettant d'atteindre très prochainement une production de 900 000 t par an de feuillard. La régularité de largeur et d'épaisseur du produit est améliorée, le poids des bobines est de 10 kg par mm de largeur et pourra passer à 12,5 et même 15 kg dans certaines largeurs. Enfin, la gamme de laminage des feuillards minces est augmentée.

Par ailleurs, ce train est suivi d'un parachèvement pouvant traiter 40 % du feuillard brut de laminage dans de bonnes conditions techniques.

Cet ensemble assure l'avenir de l'usine de Réhon.



Vue générale du tandem. Commande individuelle des cages.

tandem à 4 cages et la ligne de décapage ıtinu de l'usine de Biache-Saint-Vaast ' des Forges de Chatillon Commentry-Biache)

M. Populus
Directeur technique de l'usine de Biache
(Cie des Forges de Chatillon Commentry-Biache)

'ue de regrouper ses fabrications de tôles car-
ı, la Compagnie des Forges de Châtillon-Com-
Biache a mis en service fin 1971, dans son
e Biache-Saint-Vaast, un tandem 4 cages ali-
ɔar une nouvelle ligne de décapage continu.

ıremier stade, les nouvelles installations com-
ıt :

halle de stockage des bobines à chaud,

ligne de décapage continu à l'acide chlorhy-
ıe, avec régénération,

andem 4 cages,

batterie de fours à recuire.

TANDEM 4 CAGES, TYPE MESTA
JSOT-LOIRE. MOTEURS RÉGULATION,
OMPAGNIE ÉLECTRO-MÉCANIQUE

laminoir a été conçu pour laminer :

bobines en acier doux à 0,12 % de car-
ɜ, pour la fabrication des tôles d'emboutis-
ɜ ou des tôles commerciales,

— des bobines en acier à teneur en silicium comprise entre 0,8 et 2 % Si, à l'épaisseur finale, pour la fabrication des tôles magnétiques à grains non orientés,

— des bobines en acier à 3 % de silicium, à l'épaisseur intermédiaire, pour la fabrication des tôles magéntiques à grains orientés.

Poids des bobines : 18 t au mètre.

Largeur maximale : 1 500 mm.

Poids maximal : 27 t.

Epaisseurs après laminage à froid : 0,5 mm à 2 mm.

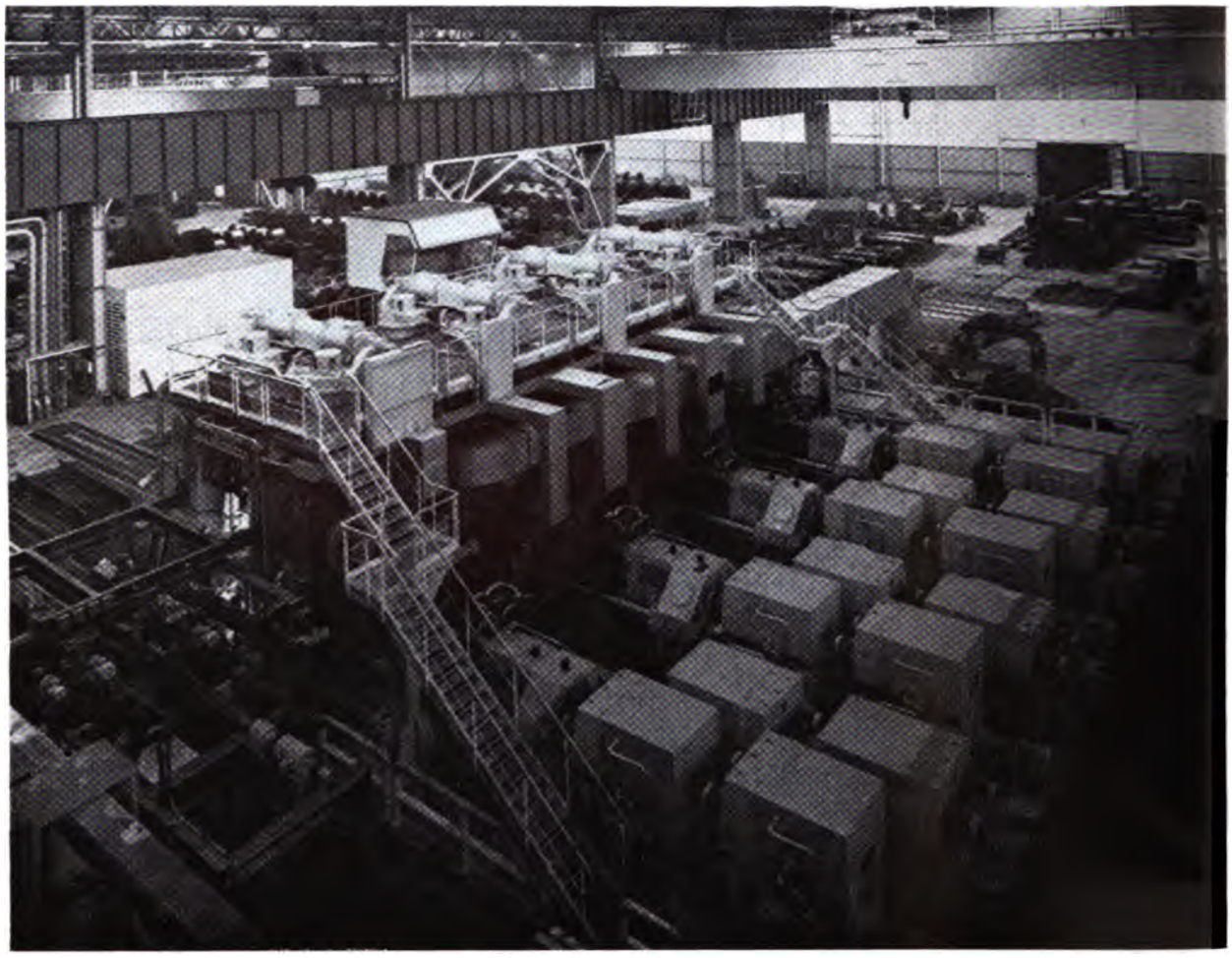
Equipement du laminoir.

— Cylindre d'appui :

diamètre 1 500 mm } sur coussinets Mesta
table 1 625 mm } à film d'huile

— Cylindre de travail :

diamètre 533 mm
table 1 675 mm



Vue arrière du tandem montrant réducteurs et moteurs.

Serrage par vis sur les 4 cages avec adjonction d'un serrage hydraulique, type Sermes, sur la cage n° 1.

Vitesse maximale de sortie à la cage 4 : 740 m/mn, avec possibilité future de porter cette vitesse à 1 000 m/mn par adjonction de 2 nouveaux moteurs par cage et modifications des rapports des réducteurs.

Productions prévues en 1er stade.

En exploitation normale, le train est capable des productions suivantes :

— tôles d'acier doux, format moyen pondéré : 130 t/h ;

— tôles magnétiques à grains non orientés : 95 t/h ;

— tôles magnétiques à grains orientés, premier laminage : 65 t/h.

Alimentation électrique.

Le tandem est alimenté en 20 kV à travers deux transformateurs 90/20 kV de chacun 40 MVA.

Alimentation statique par groupes à thyristors.

Chaque cage comporte 4 moteurs de 750 kW chacun, sous tension de 500 V. Le montage est réalisé en 2 boucles de chacune 2 moteurs en série (1 000 V pour 2 moteurs).

Cette tension et la puissance des moteurs ont conduit à une installation comportant 1 pont de laminage de 6 thyristors en parallèle et 2 groupes en série. Le pont de freinage a une puissance moindre avec 4 thyristors en parallèle et 2 groupes en série.

Ligne continue de décapage chlorhydrique. Alimentation et section entrée.

Le montage des ponts en série à commande échelonnée a permis de réduire d'une façon importante la puissance réactive.

La vitesse des cages est régulée en suivant un système du type cascade comportant un régulateur de vitesse et un régulateur de courant avec montage à logique de basculement. De ce fait, les boucles ne comportent que de simples selfs peu importantes, servant surtout à réduire l'ondulation sur le courant. Pour la protection des groupes de thyristors, les boucles sont munies d'un disjoncteur ultra-rapide.

La puissance installée sur le tandem est de 12 500 kW.

— Dérouleuse . . . . . 200 kW

— Cage 1 . . . . . 2 500 kW

— Cage 2 . . . . . 3 000 kW

— Cage 3 . . . . . 3 000 kW

— Cage 4 . . . . . 3 000 kW

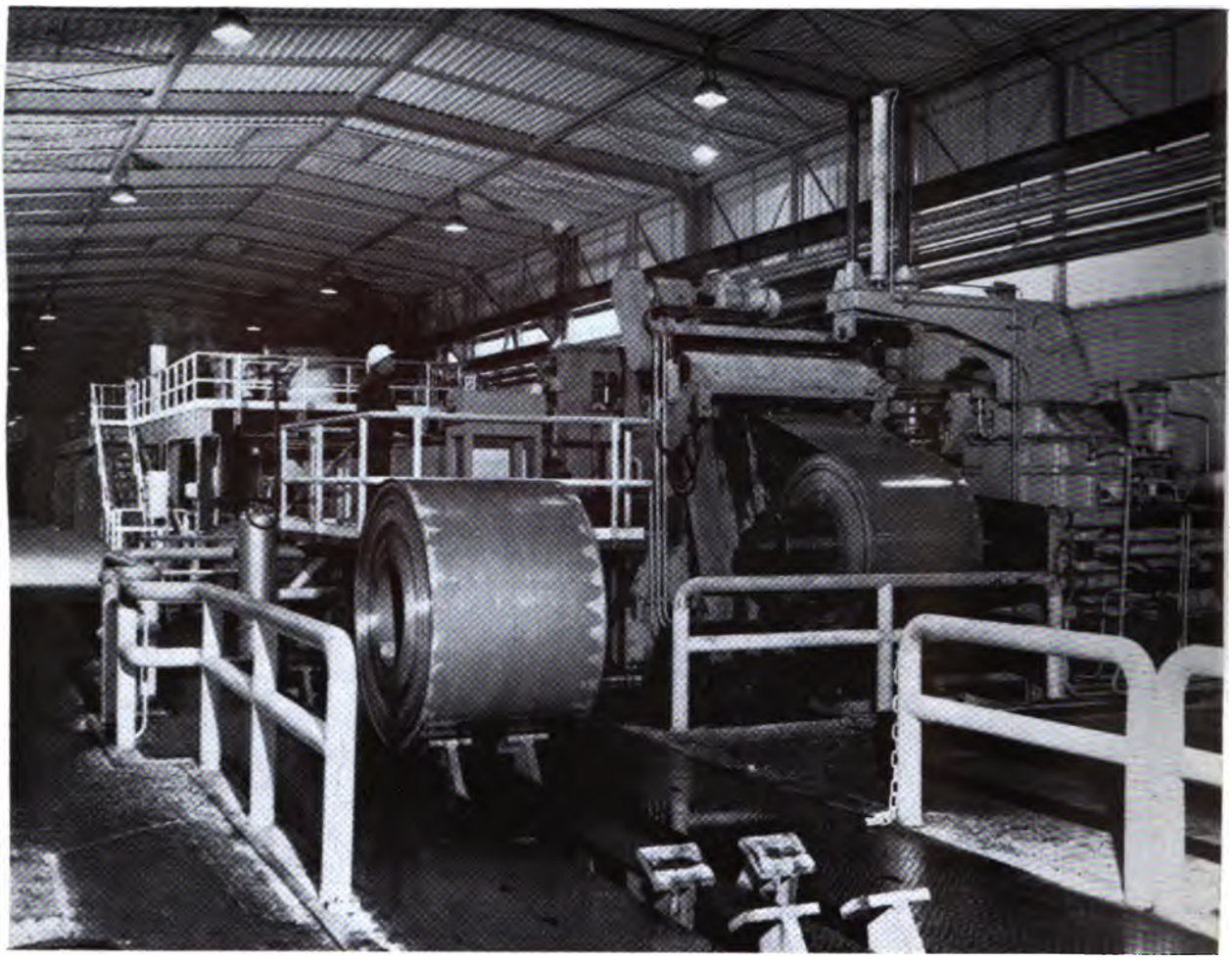
— Enrouleuse . . . . . 1 300 kW

Les rapports entre couple constant et puissance constante ont été choisis de 3 pour la cage 1 et 2,5 pour les autres cages.

Les attaques des cages s'effectuent par l'intermédiaire de réducteurs à deux entrées.

A chaque cage, les pressions de laminage sont transmises par des jauges Kelk qui interviennent dans la séquence d'engagement et qui, par lecture directe, donnent les pressions totales et différentielles.

Les positionnements des vis de serrage, des guides d'entrée, des allonges ont été traités en numérique au moyen de circuits intégrés.



Ligne continue de décapage chlorhydrique. Section sortie.

Entrée et sortie tandem.

L'alimentation du tandem en bobines décapées huilées est effectuée par un convoyeur qui prend la bobine dans la halle intermédiaire entre décapage et tandem.

Pendant le laminage d'une bobine, une autre est en préparation, par le déroulement de la tête de bande au-dessus de la bande engagée dans les cylindres.

a) Plusieurs séquences automatiques conduisent le laminoir. Une séquence automatique d'entrée assure les phases suivantes :

— positionnement d'une bobine en station de préparation,

— amenée de la bande sous pinceur entrée,

— positionnement de la bobine sur dérouleuse.

b) Deux séquences automatiques d'engagement et de dégagement permettent l'introduction et la sortie de bande avec contrôle de serrage opéré par les jauges Kelk de pression des cages 1 et 4.

Différentes phases :

— approche des presses d'entrée et leur fermeture en fin de bande ;

— recul des jauges ;

— mise en place du tablier d'engagement cage 1 ;

— abaissement du presseur-enrouleur à courroies ;

— mise hors service du cambrage cage 4 ;

— relevage des presses ;

— mise en place des guides latéraux à rouleaux ;

— passage à vitesse d'engagement.

Nouvelle batterie de fours à recuire.

quence de sortie :

ɔt en contact avec la bobine ;

age du presseur, de l'enrouleur à courroies chariot ;

:tion du mandrin ;

'ert du chariot.

ɔnvoyeur à palettes placé dans l'axe de l'en- évacue les bobines à une station de pesage ı culbuteur dans la halle de préparation des

ment des cylindres.

ɛmontage et le remontage des cylindres de ɔnt réalisés par un chariot supportant les 2 et leurs empoises, mû par un vérin placé moteur et assurant la sortie et la rentrée ot. Une séquence automatique permet un ge rapide.

ıangement des cylindres d'appui est réalisé ɛn d'un chariot de démontage déplaçable uement.

Arrosage des cylindres.

Le tandem lamine avec une émulsion d'huile soluble d'un débit maximal de 1 200 m^3/h.

L'émulsion est fournie par 2 cuves de 200 m^3 chacune.

Le nettoyage de l'émulsion est réalisé par raclage des mousses à la partie supérieure des bacs et par 4 filtres Sack d'un débit de 5 m^3/mm assurant la filtration de l'émulsion.

Cette installation est complétée par un stockage d'émulsion usée et par une installation de cassage de cette émulsion avant rejet.

Principes de régulation.

Régulation de traction.

La valeur de la traction est mesurée entre cages par un tensiomètre à pressducteur.

Entre les cages 1-2 et entre les cages 2-3, la régulation de traction se fait par action sur le serrage de la cage suivante et sur la vitesse de la cage précédente.

Entre les cages 3-4, la régulation de traction agit seulement sur la vitesse de la cage 3.

Régulation d'épaisseur.

Trois jauges Bendix Sheffield à rayons X mesurent les épaisseurs :

— 1 jauge entrée cage 1,

— 1 jauge sortie cage 1,

— 1 jauge sortie cage 4.

La jauge entrée cage 1 agit sur le serrage cage 1 (pour de brusques variations d'épaisseur).

La jauge sortie cage 1 agit sur le serrage cage 1 et sur la vitesse cage 1.

La jauge sortie cage 4 agit sur la vitesse cage 4.

Points particuliers.

En premier stade, le tandem fonctionne avec serrage par vis. Toutefois, la cage 1 est dès à présent équipée d'un serrage hydraulique (Sermes) permettant d'obtenir des temps de réponse de 10 millisecondes et également des vitesses de serrage en pression 3 fois plus rapides que par le serrage par vis.

Suivant les résultats qui seront obtenus à la cage 1, les autres cages pourront être également équipées d'un serrage Sermes.

A la cage 4, pour permettre en cours de laminage d'une bobine ou d'une bobine à l'autre des modifications de la forme des cylindres, un système de cambrage a été installé sur les cylindres de travail. Il est manœuvré du pupitre de sortie de la cage 4 et permet d'agir en cambrage direct ou en cambrage inverse.

Commandes du tandem.

La commande du tandem a été choisie à partir d'un pupitre principal, complété par des pupitres de cages. Sur ce pupitre principal sont reportées les valeurs essentielles de laminage pour chaque cage :

— indicateurs de vitesse et commande des vitesses,

— indicateurs de puissance, de pression, de traction, de serrage,

— et contrôles d'épaisseur.

C'est également au pupitre principal que sont affichés les programmes de laminage : rapport de vitesses des différentes cages, gamme de traction entre les cages, épaisseurs pour les 3 jauges.

Cette disposition a été retenue pour permettre de réduire le personnel affecté à la conduite du laminoir et pour adjoindre ultérieurement un système de programmation du tandem fonctionnant en dis automatique de consignes, à partir de proc de laminage en mémoire.

Un système de sélection automatique d grammes de laminage permettra au calcul partir de quelques paramètres caractéristiq choisir parmi les programmes généralisés c sera utilisé pour la bobine à laminer.

LIGNE DE DÉCAPAGE CONTINU

La ligne de décapage continu a été chois fonctionner à l'acide chlorhydrique.

— Capacité de production : 1 500 t/j.

— Capable de décaper des bobines de 1 600 largeur au maximum et de 18 t par mètre geur.

L'installation comprend :

— une ligne de préparation pour la recherc dédoublures et la coupe,

— une dérouleuse à mandrin avec briseur d'

— une décintreuse, une cisaille,

— une soudeuse Miebach avec raboteuse porée,

— un chariot à boucles à 4 brins permettant tuer la soudure sans arrêt de la ligne,

— 4 bacs de décapage très plats (principe Ru 4 bacs de lavage ; séchage,

— une fosse de régulation,

— une machine à échancrer, cisaille de rives « tensionneurs », huileuse, cisaille, enroule

La partie mécanique est de construction mann.

L'installation électrique de Jeumont-Schnei

Cette ligne est prévue pour comporter ult ment :

— un cinquième bac de décapage,

— un chariot à boucles à la sortie du sécha mettant un défilement continu pendant l'ext de la bobine décapée.

Sa production sera portée alors à 1 800 t.

L'installation est complétée par deux fo régénération d'acide, type Ruthner, produisa solution d'acide chlorhydrique et de l'oxyde de

Le décapage et la régénération fonctionnent rement en circuit fermé, sans rejet ni de s acide, ni d'eau de rinçage.

automatisation du quarto du Creusot (Creusot-Loire)

conduite en guide opérateur d'un laminoir quarto à tôles fortes au moyen d'un calculateur

GÉNÉRALITÉS

Les installations de laminage de la tôlerie forte de usine du Creusot comportent essentiellement :

— une cage briseuse d'oxyde,

— un laminoir duo de 4200,

— un laminoir à tôles fortes équipé d'une cage quarto réversible de 3 600 mm de table, munie de cylindres de soutien ∅ 1 500 mm et de cylindres de travail ∅ 950 mm, la levée étant de 500 mm.

Ce laminoir est en outre doté de règles avant et rrière, d'une table vireur de slab et d'une quille de ivotement.

L'entrainement est réalisé par 2 moteurs jumeaux le puissance unitaire de 3 000 CV avec un couple de déclenchement unitaire de 170 tf.m, la vitesse de otation est de 0,50 tr/mn.

Le quarto est susceptible de laminer des brames et des lingots méplats jusqu'à 80 t en tôles ayant jusqu'à 3 400 mm de largeur et pour des gammes d'épaisseurs comprises entre 5 et 200 mm.

La production, actuellement de 10 000 t/mois, est surtout orientée vers les aciers spéciaux, tels que es inoxydables, les tôles plaquées et les aciers à rès haute limite élastique.

Le laminoir a été doté, en 1967, d'un équipement de conduite automatique, réalisé au moyen d'un calculateur numérique industriel fonctionnant en temps réel. Il s'agissait, dans une première étape, de mettre en œuvre un équipement qui, travaillant en « guide opérateur », serait susceptible de fournir au lamineur les consignes de conduite permettant d'obtenir une tôle ayant une épaisseur de sortie déterminée.

Les principes qui ont présidé à cette époque à la mise sur pied du projet présentaient certains traits particuliers qui méritent d'être soulignés :

L'examen du carnet de commande montrait que la production était très diversifiée, tant en dimensions qu'en qualité, avec des séries pratiquement inexistantes. Ce fait majeur conduisait à rechercher une modelisation du processus de laminage, un procédé utilisant la méthode des tôles témoins s'avérant inapplicable.

Les études entreprises afin de rendre automatiques les opérations de laminage eurent donc pour objet la détermination d'un modèle mathématique permettant le calcul de programmes de laminage, c'est-à-dire la détermination des serrages successifs à exécuter au cours des passes, de manière à aboutir à une tôle ayant une cote en épaisseur prescrite.

Le modèle mathématique a été défini en partant des considérations fondamentales suivantes :

— l'épaisseur finale des produits laminés doit être comprise dans des tolérances prescrites ;

— le produit obtenu doit être plat (faces parallèles), c'est-à-dire que le bombé doit, lui aussi, être compris dans les tolérances prescrites ;

— le produit doit être d'une planéité générale satisfaisante ;

— partant d'un produit de dimensions déterminées, le produit fini doit être obtenu avec un nombre minimum de passes.

Le modèle mathématique doit d'autre part permettre d'atteindre les objectifs ci-dessus énumérés en tenant compte des limitations fondamentales imposées par les équipements électriques et mécaniques.

Enfin, il fallait s'assurer que les calculs nécessités par le modèle mathématique établi étaient susceptibles d'être exécutés par l'organe de calcul envisagé dans des temps notablement inférieurs à ceux normalement disponibles entre deux passes successives.

D'une manière générale, il existe deux moyens principaux permettant d'envisager l'élaboration d'un modèle mathématique.

En premier lieu, la méthode dite « mécanistique » peut être utilisée, mais, dans le cas présent, elle se révèle d'un usage délicat, car elle fait intervenir des notions sur lesquelles subsistent encore trop d'inconnues.

De ce fait, la détermination d'une série d'équations étant à même de représenter exactement le processus de laminage, bien qu'ayant été l'objet d'études de la part de plusieurs spécialistes, n'a jusqu'à ce jour conduit à aucun résultat pouvant se révéler d'application pratique.

Le deuxième moyen, méthode « statistique », est d'un usage plus répandu en la matière bien qu'il nécessite d'ordinaire la détermination quantitative d'un grand nombre de coefficients.

En pratique, il est d'un usage courant de combiner les avantages respectifs de chacune des méthodes précitées et des résultats tangibles ont été donnés par des recherches expérimentales qui ont abouti à la détermination d'équations empiriques ayant d'une part une forme convenable leur permettant d'être exploitées par des unités de traitement et présentant d'autre part un degré suffisant d'approximation.

Cependant, il apparait que les méthodes actuellement mises au point font appel à des modèles formulés qui nécessitent la mise en œuvre d'unités de traitement d'un coût élevé.

Vis-à-vis de ce qui avait été réalisé jusqu'alors, il s'agissait en fait de mettre au point une méthode de conduite automatique de laminage qui se révèle à la fois d'un usage et d'une formulation simples et, de ce fait, permettre l'utilisation d'un matériel dont le coût serait relativement faible, tout en respectant les critères fondamentaux définis plus haut.

Pour ce faire, on a recherché un modèle pseudo-statistique dans lequel le nombre de paramètres introduits est restreint. Les opérations de laminage sont exécutées en fixant un cadre qui impose des valeurs à peu près constantes aux paramètres, l'estimation se faisant sur un seul terme.

OBJECTIFS

La méthode de conduite automatique définie et mise au point à la suite d'études théoriques et expérimentales a donc pour but de guider l'opérateur au cours de son travail en lui indiquant, pour chaque passe, la valeur du serrage à appliquer pour obtenir, à l'issue du laminage, une épaisseur donnée.

Les objectifs visés sont les suivants :

— apporter une précision constante sur l'épaisseur finale obtenue à la dernière passe ;

— utiliser au mieux les outils de production existants (laminoirs et fours de réchauffage) aussi bien sur le plan de la productivité que sur le plan économique.

Les limitations dues aux laminoirs sont schématiquement les suivantes :

— ne pas dépasser une certaine force de laminage ;

— ne pas excéder le couple mécanique susceptible d'être fourni pour les moteurs d'entrainement. Durant le laminage, la première contrainte est limitative pour les faibles épaisseurs, la deuxième l'étant aux fortes épaisseurs.

Le fait de laminer au plus fort des limitations, sans bien sûr les dépasser, présente de multiples avantages (gain de productivité, économie d'énergie électrique, de calories, usure moindre des cylindres, etc.) ;

— obtenir un produit fini ayant les meilleures caractéristiques métallurgiques possibles, ce qui implique une programmation des séquences de déformation, des vitesses de déformation, de la température du produit, tous ces paramètres étant bien entendu liés ;

— ne nécessiter que la mise en œuvre d'un équipement de calcul de coût modéré ;

— utiliser les capteurs standard présents sur un laminoir.

Cette méthode qui, au stade actuel et d'une manière courante, prend le laminage sous son contrôle après mise à largeur du produit et le conduit jusqu'à obtention de l'épaisseur finale visée, peut voir son champ d'action étendu à une prise en charge du laminage dès l'introduction du produit. En particulier, l'exécution automatique de la mise à largeur a déjà été réalisée à titre expérimental et donne entière satisfaction. Moyennant la mise en œuvre de dispositifs annexes simples, la méthode peut être étendue à la réalisation d'une commande entièrement automatique du laminage.

MODÈLE MATHÉMATIQUE

Avant d'examiner les principes ayant abouti à la mise au point du modèle, il est bon de préciser les objectifs poursuivis et les particularités de la méthode proposée.

L'objectif essentiel est d'essayer de prédire et de réaliser à chaque passe de laminage une réduction correspondant à une force et à un couple de laminage donnés. Cette condition est primordiale si l'on veut obtenir un produit de caractéristiques dimensionnelles présentant une bonne planéité et des propriétés mécaniques optimales tout en utilisant au mieux le matériel dont on dispose. En effet, si l'on parvient à maîtriser ainsi chaque passe de laminage, l'optimisation générale devient une opération simple, dépendant de l'importance que l'on apporte à tel ou tel paramètre de nature économique ou métallurgique.

Diverses solutions ont été préconisées pour résoudre un tel problème ; cependant, il semble que la solution exposée ici se distingue des précédentes par les traits suivants :

— Elle nécessite un investissement faible, la taille du calculateur restant très modeste.

— Elle apparait plus simple que celles envisagées antérieurement. Elle ne requiert pas en effet de laminage préliminaire sur tôles témoins. Ce dernier point est particulièrement avantageux pour des tôleries dont le carnet de commandes est fait de lots de très faible importance et bien souvent d'une seule tôle ; c'est précisément le cas pour la présente installation.

Revenons au modèle mathématique. Rappelons-en l'objectif principal : préciser avec suffisamment de rigueur l'effort et le couple de laminage d'une passe déterminée et faire en sorte que ces valeurs considérées comme optimales puissent être réalisées à chacune des passes.

Il a semblé impossible, dans l'état actuel de nos connaissances sur la plasticité du métal, d'effectuer un calcul théorique faisant intervenir la composition chimique du métal, sa température en admettant qu'on puisse la définir, et divers autres éléments nécessaires. Aussi, a-t-il été estimé préférable de bâtir un programme de laminage après avoir obtenu des renseignements spécifiques suffisants sur la tôle à laminer. Cette information se réduit d'ailleurs à la courbe de plasticité du métal. Cette courbe est assimilée à une droite caractérisée par sa pente. Elle est définie en portant en abscisse l'épaisseur et en ordonnée la force nécessaire pour obtenir une épaisseur e_2 et à partir d'une épaisseur donnée e_1. On sait qu'il suffit de deux passes successives, où l'on note les serrages et les efforts, pour obtenir cette droite de plasticité valable après cette deuxième passe (fig. 1).

En possession de ce résultat, le problème posé serait résolu si l'on savait comment cette droite de plasticité évolue au fur et à mesure du laminage. L'intuition permet de savoir que cette droite se « redresse » lorsqu'on atteint les faibles épaisseurs, mais l'analyse statistique nous a montré que le produit de la pente de cette droite par l'épaisseur restait sensiblement constant, pour une tôle donnée au cours

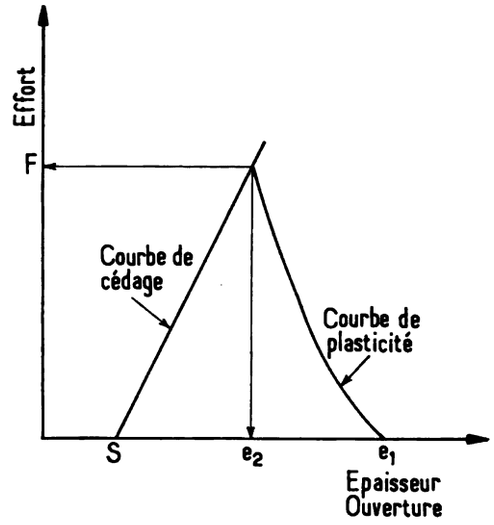


Figure 1.

des laminages considérés comme optima. Plus exactement, on peut l'assimiler à une hyperbole pour les épaisseurs faibles et à une parabole pour les épaisseurs supérieures. Cette remarque peut être justifiée théoriquement *a posteriori*. Pour des tôles différentes, des courbes définies dans les mêmes conditions sont sensiblement affinées par rapport à l'axe Y (fig. 2).

Les renseignements issus des deux premières passes donnent alors des indications nécessaires pour le choix de la courbe parmi toutes les courbes affines et permettent le calcul d'un programme de laminage en tenant compte des contraintes imposées (par exemple, effort plus faible aux dernières passes pour des raisons soit de planéité, soit métallurgiques).

Ce calcul est effectué entre la deuxième et la troisième passe ; il demande à peine une seconde et ne ralentit absolument pas le laminage.

En mémoire dans l'ordinateur sont donc rangées toutes les épaisseurs intermédiaires devant être réalisées à chacune des passes. Il ne reste donc plus qu'à déterminer les serrages correspondant à ce premier schéma de laminage. Il ne s'agit, en effet, que d'un premier schéma, car il peut se révéler au fur et à mesure du laminage comme n'étant pas le meilleur. On est alors conduit, par des principes analogues, à rechercher un nouveau schéma. Un essai effectué automatiquement à chacune des passes permet de savoir si l'on a intérêt à en établir un autre.

Pour déterminer les serrages correspondant à ce schéma, on utilise des renseignements recueillis pendant les passes précédentes par une méthode d'extrapolation portant sur le coefficient sensiblement constant que nous avons mentionné plus avant.

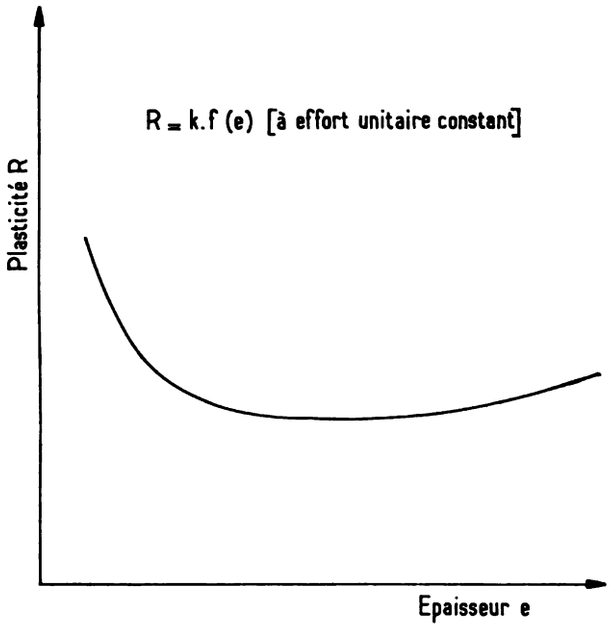


Figure 2.

Il est en effet souhaitable d'avoir à extrapoler sur un paramètre subissant peu de variations.

Sans entrer dans les détails, mentionnons tout de même qu'une série de calculs annexés est nécessaire à chaque passe pour respecter un certain nombre d'impératifs, notamment sur le couple de laminage et pour s'assurer que les ordres donnés par le calculateur sont compatibles avec le matériel dont on dispose.

CARACTÉRISTIQUES DES ÉQUIPEMENTS

Fonctions.

Sommairement résumées, les fonctions assurées par le système sont les suivantes :

— Prise en charge des consignes émises par le lamineur (numéro de série des produits, largeur du produit, épaisseur finale, efforts de laminage).

— Prise en charge des données permettant le réglage du train (tarage).

— Prise en charge des données en provenance du codeur des vis et des pesons.

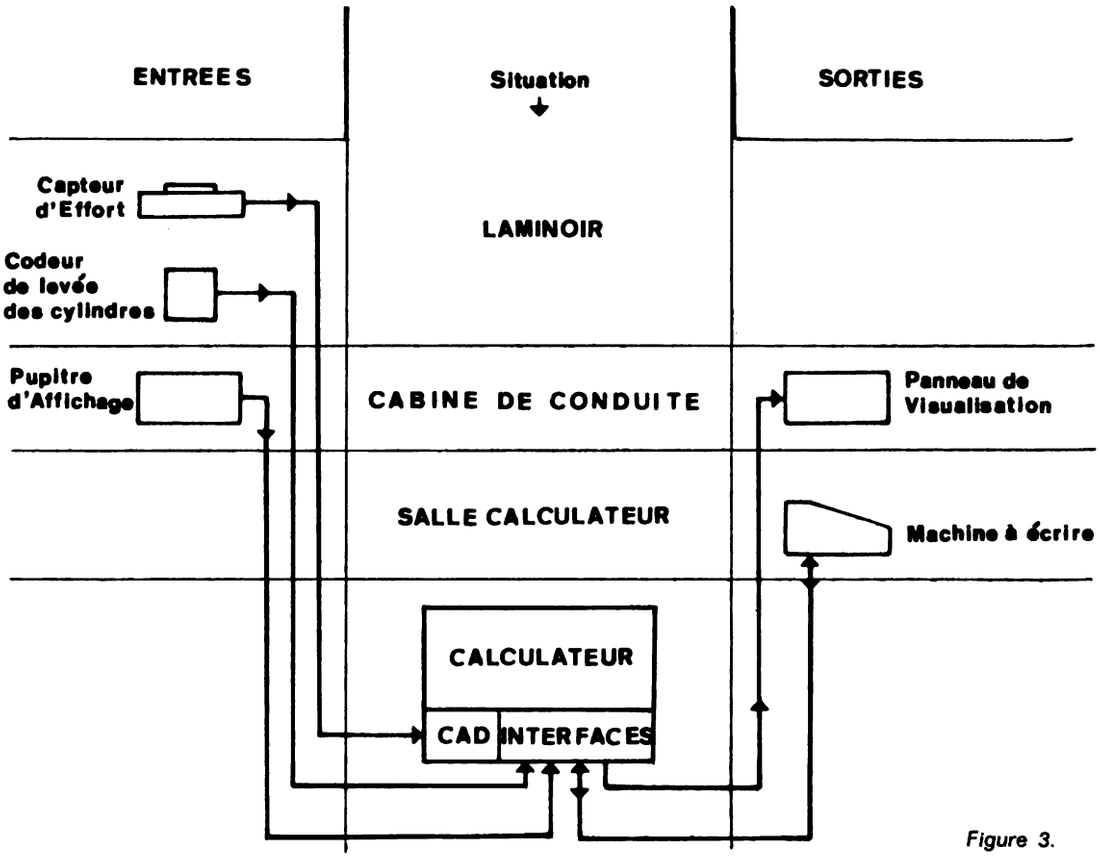


Figure 3.

— Exécution des calculs permettant l'élaboration du programme de laminage.

— Exécution des calculs permettant l'élaboration des consignes à l'opérateur pendant l'opération de laminage.

— Impression sur machine à écrire d'un certain nombre de valeurs (consignes, résultats...).

— Visualisation sur voyants lumineux de consignes et de résultats de calculs.

Le schéma de la *figure 3* définit d'une part les situations des différents matériels, d'autre part la nature des informations entrant et sortant du système.

ÉQUIPEMENTS

L'équipement est constitué essentiellement des éléments suivants :

— dans une salle :

- un calculateur numérique,
- les interfaces et périphériques,
- la machine à écrire ;

— dans la cabine des opérateurs :

- un pupitre d'affichage,
- un panneau de visualisation ;

— sur le laminoir :

- un codeur numérique de positionnement des vis,
- un ensemble de mesures de l'effort de laminage.

L'ensemble des éléments entrant dans la constitution du système a été défini de manière à réaliser un équipement strictement limité et adapté à la tâche qui lui est confiée, tout en présentant une souplesse permettant facilement des extensions.

Calculateur et équipements associés.

Le calculateur retenu, à logique parallèle, est doté d'une mémoire rapide à tores magnétiques à accès aléatoires de 4 096 mots de 12 digits. Les opérations binaires sont exécutées sur des nombres de 12 et de 24 digits en compléments à deux. Les circuits sont réalisés à l'aide de modules constitués par des circuits au silicium. Le cycle de base est de 1,6 microseconde.

La machine à écrire émettrice-réceptrice est munie d'un perforateur lecteur de ruban. Cette machine est normalement utilisée pour l'obtention des listages concernant les résultats de laminage à chaque passe (*fig.* 4).

Figure 4. — Calculateur et équipements associés.

Pupitre d'affichage et de commande (fig. 5).

Ce pupitre comprend essentiellement :

— les commutateurs d'affichages pour :

- numéro de série (4),
- effort de laminage consigné (2 en 100 t),
- effort de laminage dernière passe (2 en 100 t),
- largeur de la tôle (3 en cm),
- épaisseur finale (3 en 1/10 mm),
- le réglage du zéro du train (1 en 1/10 mm) ;

— les boutons poussoirs de commande :

- précalcul en introduction des valeurs affichées,
- calcul,
- annulation,
- tarage.

Panneau de visualisation (fig. 5).

Cet ensemble comprend essentiellement les tubes à affichage numérique se répartissant en :

— visualisation de la valeur de l'ouverture à vide (serrage vis) (4 en 1/10 mm) ;

— visualisation de la valeur de l'épaisseur moyenne calculée à l'issue de la passe (4 en 1/10 mm) ;

Sorties.

Consignes.

L'unité de traitement fournit la consigne suivante : ouverture à vide à réaliser.

Visualisations.

L'unité de traitement assure la visualisation des résultats suivants :

— épaisseur moyenne calculée,

— écart entre l'épaisseur visée par le système et l'épaisseur moyenne calculée.

Impression des résultats.

Les résultats issus des opérations de laminage sont enregistrés sur une machine à écrire.

RÉSULTATS D'EXPLOITATION

La méthode de conduite automatique présente les performances suivantes :

— La méthode ne nécessite qu'un équipement d'un coût restreint, les affichages et les capteurs étant réduits au minimum.

— La méthode est applicable aux produits métalliques entrant dans la catégorie des tôles fortes et moyennes.

— La méthode est applicable aux produits constitués par des aciers de nature et de dureté très différentes.

— La méthode ne nécessite nullement une fabrication par série de tôles identiques, soit en nature, soit en dimensions.

— La précision obtenue sur l'épaisseur finale visée est de ± 0,2 mm (2 σ = 0,2 mm).

Les performances ci-dessus énumérées sont confirmées par les résultats d'exploitation industrielle observés pour une période d'environ trois ans. Les résultats obtenus sont très satisfaisants. En particulier, la précision obtenue est de 0,2 mm pour l'épaisseur visée, et de 100 t pour l'effort de laminage. Ces résultats sont relatifs à des tôles de nature très diverses, laminées dans un ordre quelconque (fig. 7).

D'autre part, la précision obtenue en cours de laminage sur les épaisseurs intermédiaires est supérieure à ± 0,2 mm.

Sur le plan économique, la productivité est améliorée à précision constante, ce qui permet des gains importants, notamment sur la consommation d'énergie (environ 10 %).

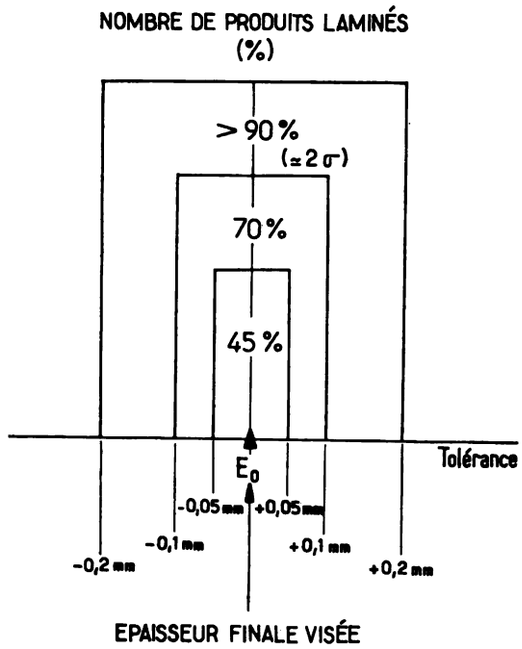


Figure 7. — Résultats d'exploitation.

De plus, la rapidité permet une fin de laminage à plus haute température, favorable à l'état de surface des tôles, à la régularité de l'épaisseur en rives et à la planéité des tôles minces.

La diminution du nombre de passes et une température de fin de laminage supérieure entraînent aussi une diminution de la consommation de cylindres de travail.

Signalons que nos lamineurs se sont très bien adaptés à cette installation qui facilite leur tâche et leur assure une plus grande liberté intellectuelle. Ils se passeraient difficilement de cet automatisme.

CONCLUSION

Les résultats obtenus à ce jour montrent que les objectifs assignés au projet sont atteints.

On peut donc, en utilisant des méthodes simples résultant d'une modélisation originale et avec un investissement modéré, bâtir un système qui présente dès l'origine des caractéristiques très intéressantes. Ce système est bien sûr susceptible d'évoluer en fonction d'études et d'objectifs nouveaux.

Seule une collaboration étroite entre les utilisateurs et les spécialistes des disciplines de l'automatisme industriel a pu permettre une réalisation de ce genre.

Délégation générale à la recherche scientifique et technique

Rapports des résultats des recherches menées sous contrats d'action concertée

Les rapports qui sont signalés dans cette rubrique peuvent être consultés à la bibliothèque du Centre de Documentation du CNRS, 26, rue Boyer, Paris-20e.

Le Centre de Documentation du CNRS assure aussi, à la demande, la reproduction des rapports soit sous forme de micro-fiches au prix de 3 F + TVA par micro-fiche (chaque micro-fiche contient jusqu'à 20 pages de texte), soit sous forme de photocopie au prix de 10 F + TVA par article de 10 pages et 7 F + TVA par fraction supplémentaire de 10 pages.

Paiement au CCP 9.131.62 ou par chèque bancaire établi au nom du Centre de Documentation du CNRS.

Métallurgie.

MARTIN (J.L.), CAZE (R.), COSTA (P.). — Lab. Phys. Solide O.N.E.R.A., 91 - Châtillon-sous-Bagneux.

Recherche des paramètres gouvernant la transition ductile-fragile de carbures de métaux réfractaires.

Contrat n° 69-01-651, avril 1969, in-4°, pag. multiple (59 p.).

Observation et interprétation des mécanismes de déformation de carbure de tantale TOC $_{I\text{-}SC}$ en le comparant aux autres carbures de métaux de transition. Essais réalisés sur une machine de flexion, complétés d'observations au microscope électronique et de mesures de vitesse de déplacement de dislocations à partir de figures d'attaque. Relation liant *N* de déformation plastique, contrainte et température.

LE MAIGEN (M.). — THOMSON - C.S.F., 91 - Orsay.

Alliages à hautes caractéristiques mécaniques.

Contrat n° 69-02-102, 1970, in-4°, 20 p., 8 pl. h.t.

But de l'étude : comparaison de composites Ni-trichites d'Al_2O_3 préparés par électrolyse et par frittage. Ce rapport traite la production des « feutres » de trichites, leur revêtement par C, leur individualisation, triage et classement ainsi que de la réalisation des composites par électrolyse.

POTARD (C.), TEILLIER (A.). — Départ. Métallurg., C.E.A., 38 - Grenoble.

Diffusion dans les alliages liquides et solidification.

Contrat n° 69-01-656, 1970, in-4°, 6 p.

Mesure des coefficients d'interdiffusion dans les alliages SnAg, SnSb et SnAg-Sb par la méthode des capillaires à cisaillement. Accord avec la loi de Darken aux températures élevées. Importance des interactions de diffusion dans la solidification de l'alliage ternaire. Problème de la croissance cristalline dirigée en solution.

Suite page 706

ôlerie inoxydable Creusot

GÉNÉRALITÉS

ers inoxydables constituent l'un des pro-
se de Creusot-Loire.

élaborés dans plusieurs usines du groupe,
la fabrication des tôles a été regroupée
Creusot. A ce titre, une tôlerie inoxydable
lée à côté de la tôlerie forte à chaud déjà

BUT ET INTÉRÊT

lier est construit en premier lieu pour
production de tôles moyennes en acier
c'est-à-dire des tôles d'épaisseur com-
3 mm et 4,76 mm pour des largeurs
2 200 mm (épaisseur 3 mm) et 2 300 mm
et plus), et en second lieu pour obtenir
ces serrées et un meilleur état de surface
les d'épaisseur supérieure, jusqu'à 10 mm.
ainsi un complément à la gamme de fabri-
Creusot-Loire dans le domaine des tôles
; par les moyens classiques de laminage
l'épaisseur minimale obtenue était jus-
5 mm.

édé de fabrication adopté est le laminage
partir de demi-produits (appelés platines)
chaud, hypertrempés et décapés.

yens de parachèvement modernes mis en
les tôles moyennes servent également
les fortes inoxydables.

IMPLANTATION ET MOYENS

La conception générale de cet atelier est de Creusot-Loire. Le choix et l'adaptation du matériel, les procédés originaux de manutention sont l'œuvre du Bureau d'Etudes Sidérurgiques et des Ateliers Métallurgiques et Mécaniques de Creusot-Loire.

Cet ensemble occupe une partie des bâtiments des anciens laminoirs du Creusot, emplacement réaménagé tenant compte des exigences liées à la fabrication de ce produit.

Le matériel de manutention a été l'objet de soins particuliers : il s'agit en effet de manipuler des produits de grande valeur : d'où le nombre de tables à rouleaux motorisés et synchronisés, de ponts, grues, portiques équipés de palonniers à ventouses.

MATÉRIEL

Traitement.

Four dormant d'hypertrempe.

Chauffage au gaz par brûleurs à flamme plate en voûte. La température maximale est de 1 150°C. Trempe à l'eau, en général, dans le bac situé sous le four. Trempe à l'air possible avec manutention par Cé. Dimensions de sole 9 000 × 3 000 mm. Poids maximal admissible : 6,400 t. Appareils d'enfournement, de défournement et de trempe, prototypes de réalisation Creusot-Loire.

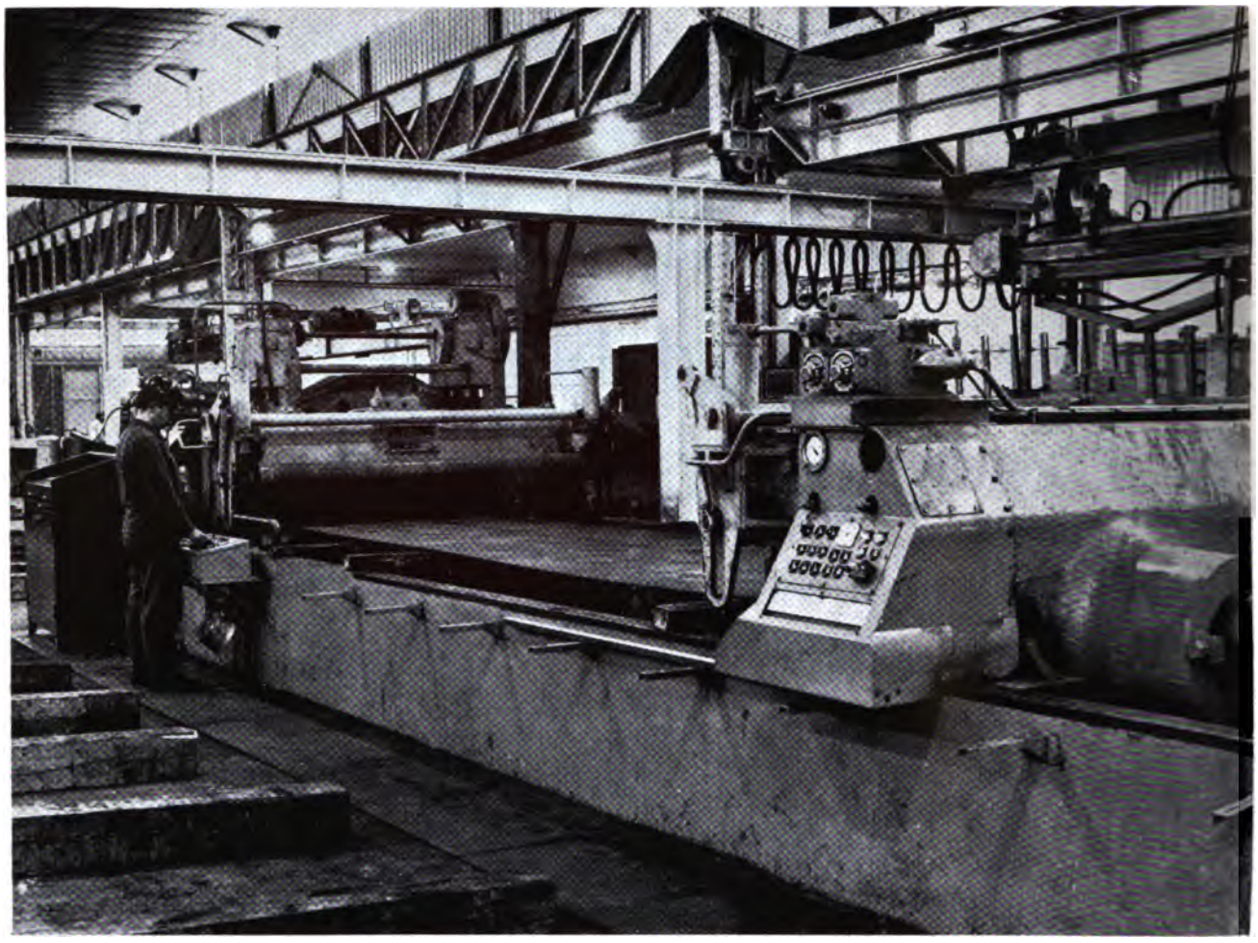


Figure 1. — Banc de traction.

Four à rouleaux d'hypertrempe.

Chauffage au gaz. Traitement au défilé de tôles de largeur maximale 2 400 mm et d'épaisseur maximale 10 mm. Trempe à l'air soufflé. Température maximale : 1 150°C. Ce four est particulièrement destiné aux tôles moyennes.

Planage.

Planeuse à rouleaux.

Utilisée surtout pour pré-planer les tôles avant leur passage au banc de traction.

Banc de traction.

Cette machine plane les tôles par étirage. La force de traction est de l'ordre de 5 t par cm de largeur de tôle, soit à peu près 1 200 t au maximum. Capacité : tôle d'épaisseur maximale 18 mm, de largeur maximale 2 500 mm, de longueur maximale finie 8 100 mm. Les éléments les plus lourds de cette machine ont été réalisés et assemblés par Creusot-Loire (châssis mécano-soudés, mordaches...).

Pour les épaisseurs et les largeurs plus importantes, on utilise les planeuses à tôles fortes ou la presse.

Coupe.

Oxycoupage.

Au-dessus d'une épaisseur de 20 mm, les tôles sont oxycoupées à la poudre de fer.

Cisailles de rives.

Cisaille à molette supérieure (⌀ 500 mm) dotée d'un positionnement automatisé. Epaisseur maximale des tôles : 18 mm. Longueur maximale : 9 m.

Figure 2. — Ensemble des cisailles. Au premier plan, cisaille à ébouter. Au second plan, cisaille de rives.

de bouts.

lotine à commande hydraulique. Positionne-
ıtomatisé. Epaisseur maximale : 18 mm. Lar-
aximale : 2 500 mm.

de détail.

lotine mécanique.

minage.

'euse.

but principal est la réduction du temps de
ge des tôles. Machine à 4 turbines (2 de cha-
é de la tôle). Capacité : tôles de largeur com-
ntre 1 000 et 2 800 mm. Poids maximal : 6 t.
e ronde de diamètre 4/10 mm. L'avantage du
ś est de rendre le décapage plus rapide et plus
, spécialement dans le domaine des tôles

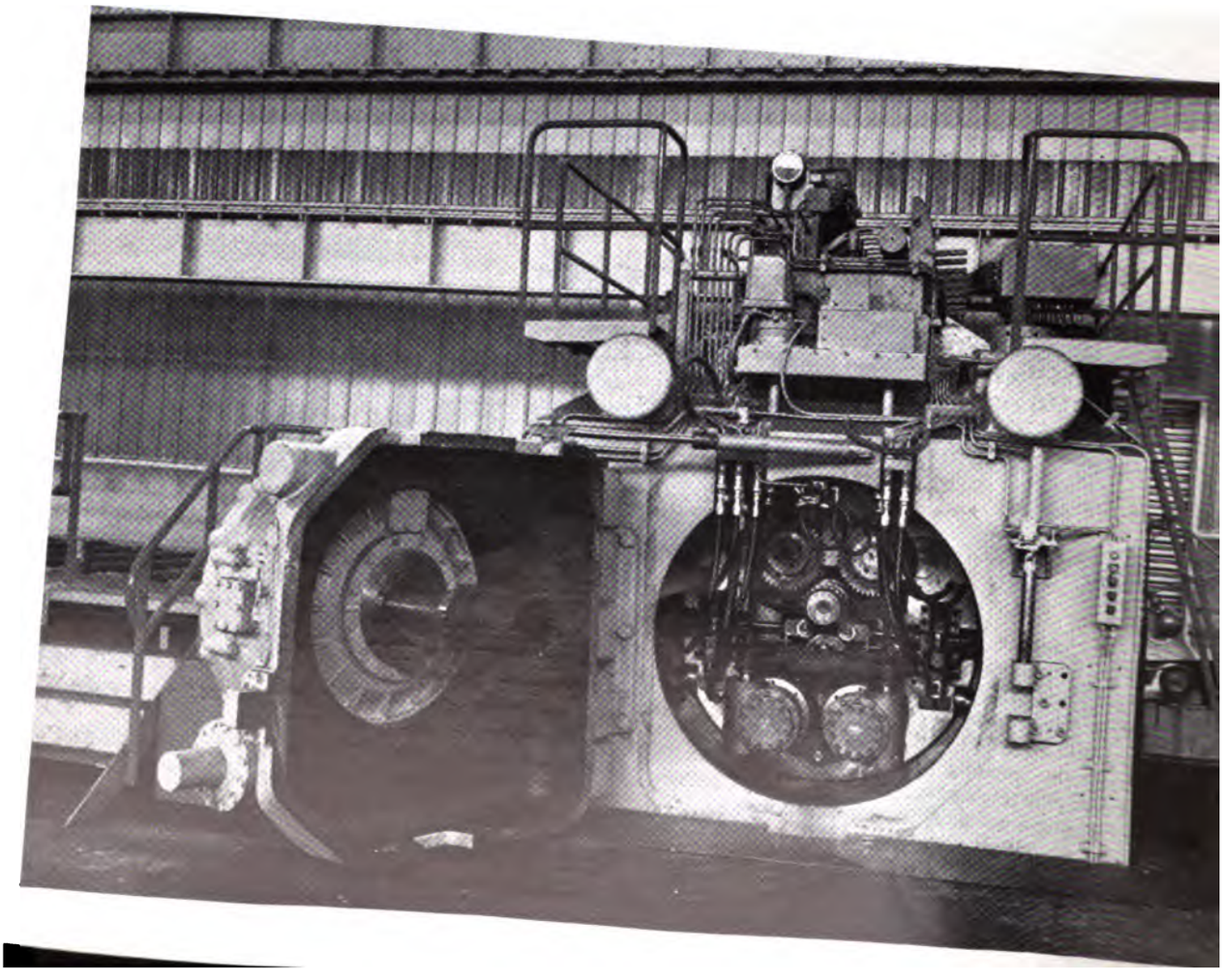
Décapage.

A l'acide (genre nitro-fluorhydrique) chauffé à 50°C. Rinçage froid par aspersion, rinçage chaud, séchage des tôles. Manutention automatique des tôles de poids inférieur à 4 t et de dimensions maximales 2 500 × 8 100 mm. Pour les tôles plus lourdes ou de dimensions allant jusqu'à 3 000 × 9 000 mm, on décape dans le bac en manutentionnant les tôles à l'aide du pont.

Laminage.

Le laminage à froid est effectué sur le laminoir Sendzimir (Type ZSC 07 B 90). Ce laminoir Sendzimir sexto (six cylindres) réversible est actuellement le plus large du monde. Les cylindres de travail ont un diamètre nominal de 254 mm. La vitesse maximale est de 30 m/mn. Ce laminoir a été étudié par le Bureau d'Etudes du Creusot et la Société Sendzimir. Il est doté d'un système original d'entraînement des

SENDZIMIR
CREUSOT-LOIRE



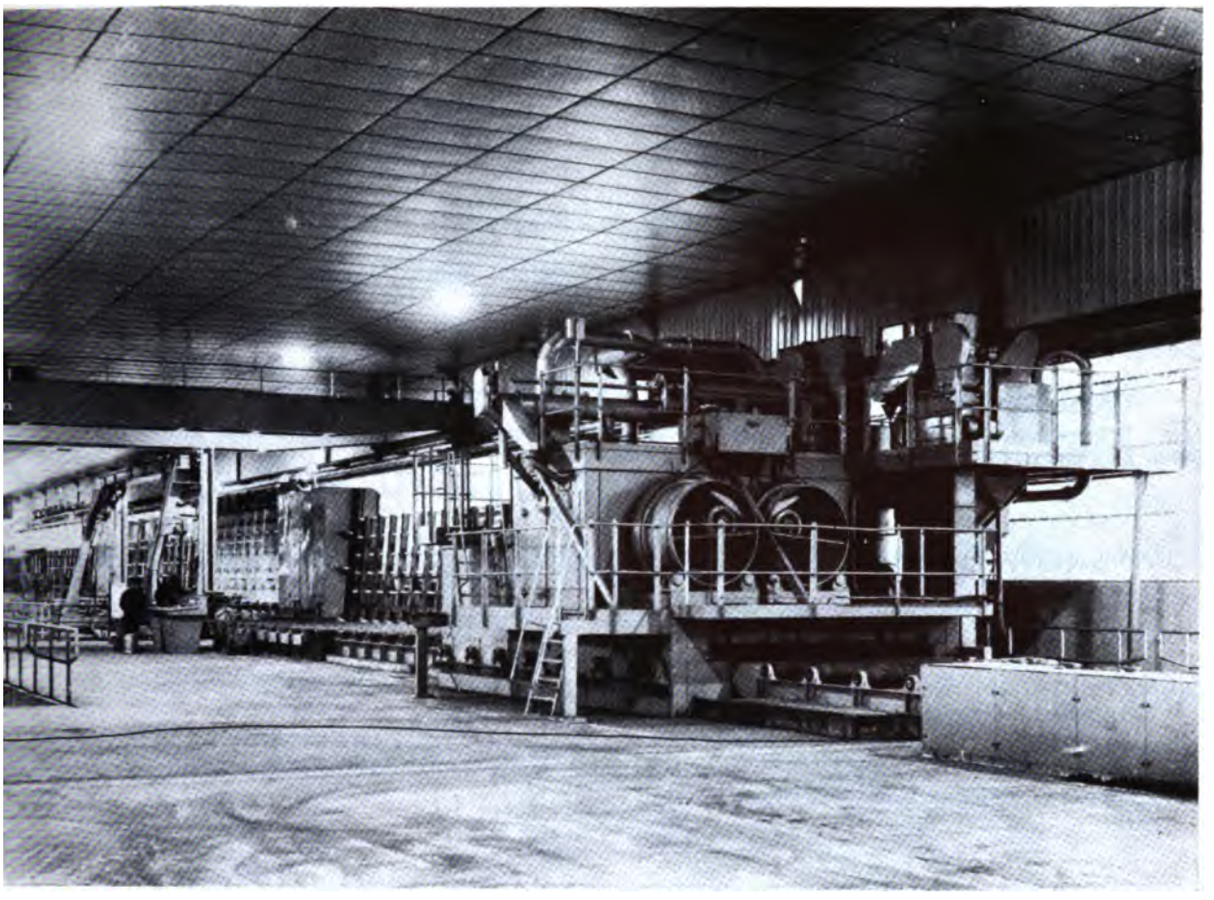


Figure 4. — Ligne de grenaillage.

dres et de commande du serrage. La cage, coulée fonderie d'acier du Creusot, a nécessité plus 30 t d'acier liquide ; après usinage, elle pèse t.

roduit.

es tôles fortes et moyennes d'acier inoxydable obtenues dans cette gamme dimensionnelle et compte tenu de leur état de surface et des tolérances très serrées représentent, pour la clientèle et en particulier les chaudronniers, un intérêt tout spécial :

— diminution du nombre des soudures,

— meilleures caractéristiques mécaniques,

— ajustement de l'épaisseur aux besoins réels,

— réduction des frais de polissage.

Figure 3. — Laminoir Sendzimir. En haut, ensemble du laminoir. En bas, détails de la cage.

Suite de la page 700

Mécanique.

CENTRE TECHNIQUE INDUSTRIES MECANIQUES, 60 - Senlis.

Etude de revêtements sur pièces mécaniques en métaux ferreux obtenus par traitement thermique de couches métalliques minces superposées.

Contrat n° 69-01-770, 1971, 30 × 21, 10 p., 13 pl. h.t.

Diffusion de couches métalliques superposées sans intervention du support en métal ferreux (traitement Forez à base Cu et Sn) ou avec intervention du métal ferreux (traitement Stanal à base de Fe, Sn et C). Bonne tenue à la corrosion et à l'usure.

DELORME, NOUVET. — Laboratoire Physique Métal. Ministère d'Etat. Défense Nationale. 75 - Paris.

Détermination de l'étendue des défauts décelés par ultrasons. Application au contrôle des joints soudés à franc-bord.

Contrat n° 69-01-965, mai 1971, 30 × 21,5, 83 p., bibl. (3 réf.).

Etude portant sur le tracé des diagrammes AVG de différents palpeurs ; vérification de la validité de ces diagrammes avec des blocs de mesure en alliage d'aluminium ; application de ces méthodes au contrôle de joints soudés à franc-bord de tôles d'acier.

GERBEAUX (H.), BERTHET (P.), MICHEL (A.). — Institut de Soudure, Paris-18e.

Recherche des conditions optimales d'utilisation en construction soudée des métaux et alliages de grande ductilité.

Contrat n° 60-592, avril 1971, 2 fasc., 30 × 21,5, 45 p., 87 pl.

Recherche comparant au cas de l'acier doux le comportement à température ambiante des aciers inoxydables Z2 CN 18-10 et Z2 CND 17-12, du cuivre Cu-C_2, d'un cupro-aluminium U-A9NFe, de l'aluminium A5, de l'A-G4MC et du titane T4O. Allongements élastiques, plastiques et de fluage dans le temps en fonction de précharges et de charges. Comportement élastique et plastique en traction biaxée. Essais hydrauliques statiques et en fatigue à grand allongement de maquettes de récipients soudés.

BLOUET (J.), GRAS (R.), SEIGE (P.), COURTEL (R.). — Institut Sup. Matér. Constructions Mécaniques, Paris.

Contribution à l'étude des transformations superficielles des métaux et alliages dus au frottement.

Contrat n° 67-01-034, janvier 1970, in-4°, 34 p., bibl. (15 réf.).

Cas de bronze frottant à sec ou en présence de graisses contre différents matériaux : Mo déposé au chalumeau à plasma, aciers de diverses nuances. Les régimes d'usure (analyse des vibrations dues au frottement) dépendent de la structure des bronzes, de l'oxydation, de l'écrouissage superficiels et du transfert du bronze sur le matériau antagoniste.

CENTRE TECHNIQUE INDUSTRIES MECANIQUES, 60 - Senlis.

Recherche de traitements de surface permettant d'utiliser les alliages d'aluminium comme métaux de frottement.

Contrat n° 69-01-957, 1971, 30 × 21, 8 p., 20 p.

Traitement de l'alliage d'Al : le zinal réalisant à la surface des pièces une couche de diffusion à base Cu et In. Traitement de la pièce d'acier antagoniste (en frottement sur Al brut) couche de diffusion à base Sn ou Cd).

parachèvement, conditionnement et stockage du fil machine inoxydable à l'usine d'Ugine de la société "Ugine Aciers"

D. Coindet, J.J. de Cadenet, A. Gueussier
" Ugine Aciers " (Ugine)

INTRODUCTION

La Société Ugine Aciers a mis en service en juillet 1971, dans son usine d'Ugine, un nouvel atelier de parachèvement, conditionnement et groupage avant expédition, de fil machine d'acier inoxydable.

La capacité de cet atelier atteindra 4 000 t/mois. Il a été conçu pour garantir au fil, en même temps que les meilleures caractéristiques métallurgiques, une excellente présentation grâce à des installations très automatisées assurant à la fois une parfaite régularité de traitement et une bonne productivité.

ORGANISATION GÉNÉRALE

Mission de l'atelier de parachèvement du fil.

Les fils d'acier inoxydable laminés à chaud se présentent enroulés en couronnes dont le poids unitaire peut atteindre 500 kg. Ces couronnes sont destinées essentiellement à la transformation ultérieure à froid par tréfilage, laminage, étirage ou frappe à froid et doivent être livrées avec des caractéristiques mécaniques régulières et la qualité de surface nécessaire à ces utilisations.

D'autre part, la présentation générale des couronnes, c'est-à-dire la régularité de l'enroulement, l'absence de déformations locales, la propreté du fil sont assurées par ces installations et contrôlées par des spécialistes, afin de permettre aux utilisateurs l'obtention d'un dévidage facile pour une alimentation continue des machines de transformation. Les manutentions et stockages internes jouent un rôle important dans la conservation de ces qualités. Par ailleurs, le conditionnement du produit fini assure une bonne protection du métal lors des expéditions à longue distance.

L'essentiel de la mission de l'atelier consiste à effectuer sur les couronnes de fil d'acier inoxydable un traitement thermique et un décapage soigné, à contrôler ensuite les caractéristiques métallurgiques et dimensionnelles, à vérifier la bonne qualité de surface du produit, puis à conditionner et stocker les couronnes dans les meilleures conditions jusqu'à leur expédition.

Implantation générale (fig. 1).

Compte tenu des impératifs ci-dessus, l'atelier a été conçu pour obtenir un écoulement continu des produits, d'une part dans les outils de traitement proprement dit, d'autre part dans un ensemble homogène de conditionnement et magasinage, en réduisant au minimum les interventions manuelles, les reprises par engins de manutention et les stockages intermédiaires.

Les moyens de traitement thermique et décapage sont implantés pour former une ligne pratiquement

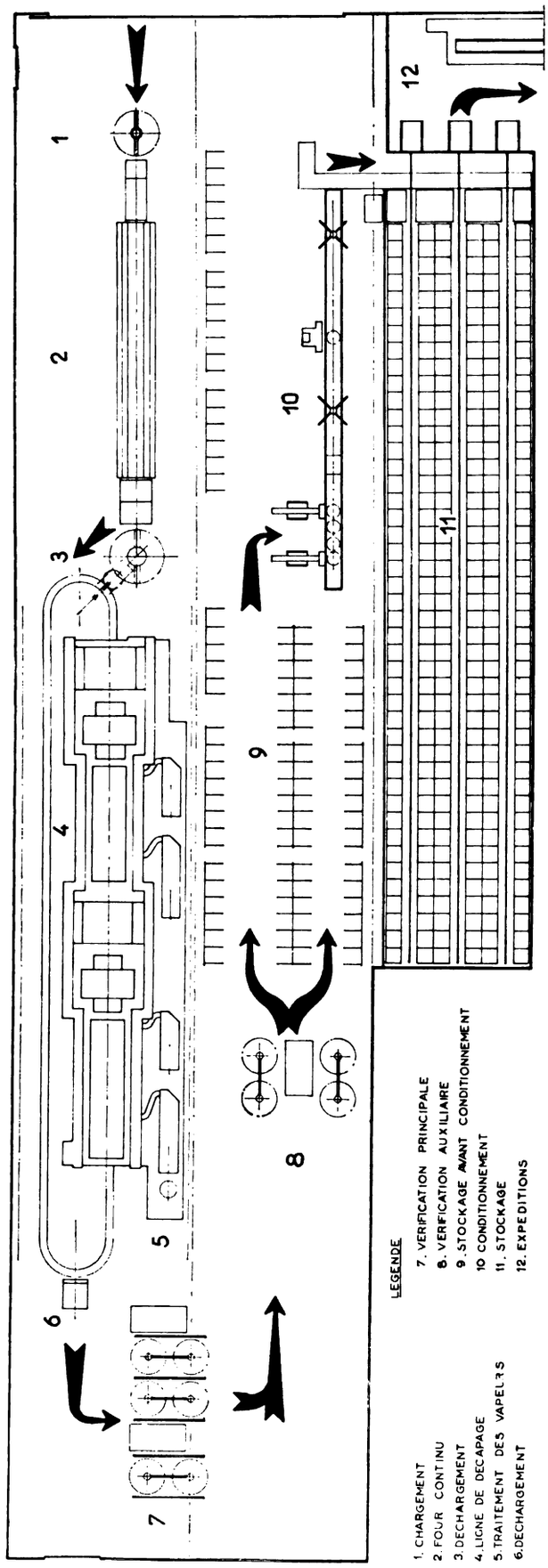

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
LEGENDE
1. CHARGEMENT
2. FOUR CONTINU
3. DECHARGEMENT
4. LIGNE DE DECAPAGE
5. TRAITEMENT DES VAPEURS
6. DECHARGEMENT
7. VERIFICATION PRINCIPALE
8. VERIFICATION AUXILIAIRE
9. STOCKAGE AVANT CONDITIONNEMENT
10 CONDITIONNEMENT
11. STOCKAGE
12. EXPEDITIONS

Figure 1.

continue occupant entièrement l'un des deux halls de l'atelier. Depuis l'entrée du four de traitement jusqu'à la sortie du décapage, le transfert des charges s'effectue de façon continue et automatique, sauf dans la zone de transfert entre four et décapage où l'intervention d'un opérateur reste nécessaire pour assurer une bonne répartition des spires sur les outillages de manutention.

A la sortie du décapage, les charges sont enlevées par chariot élévateur à éperon et transférées sur les chantiers de contrôle avant d'être regroupées dans un stockage intermédiaire dont la capacité maximum correspond à environ 24 h de production.

Ce stockage permet un regroupement avant conditionnement et magasinage de deux flux séparés de produits, l'un provenant de la ligne de traitement thermique-décapage voisine, l'autre provenant d'installations complémentaires existant dans l'usine.

A partir de ce stockage intermédiaire, les couronnes sont reprises par un chariot à éperon pour être déposées à l'entrée de la chaine mécanisée de conditionnement-magasinage.

Capacité et performances.

L'ensemble ci-dessus a été calculé pour obtenir un débit instantané de 6 t/h de couronnes sur la ligne de traitement thermique-décapage, et de 10 t/h sur la ligne de conditionnement-magasinage.

La durée moyenne s'écoulant entre l'arrivée d'une couronne dans l'atelier et sa mise à la disposition du service expédition est de l'ordre de 24 h, y compris la durée de stationnement dans le stock intermédiaire.

TRAITEMENT THERMIQUE (fig. 2)

Le traitement d'adoucissement des fils inoxydables exige un chauffage homogène du métal à des températures pouvant atteindre 1 150°C. Ce chauffage est suivi d'une trempe à l'eau énergique dans le cas des nuances austénitiques type 18-8 ou 18-8 molybdène.

Les caractéristiques principales du four de traitement sont les suivantes :

— débit instantané : 6 t/h,

— chauffage au gaz propane,

— enfournement automatique des couronnes et déplacement continu de celles-ci à l'intérieur du four sur rouleaux en acier réfractaire,

— dispositif de trempe rapide et automatique par accélération des rouleaux dans la zone de sortie et transfert sur ascenseur de trempe hydraulique.

Figure 2. — Four de traitement thermique.

La conception du four permet un chauffage très rapide des couronnes ; l'homogénéité de température, malgré un temps de traitement relativement court, est excellente et de l'ordre de quelques degrés C. Le mécanisme automatique de trempe a été particulièrement étudié pour éliminer le risque de refroidissement hétérogène. A titre indicatif, la vitesse de transfert est telle que moins de dix secondes sont nécessaires pour obtenir l'immersion totale de la charge dans le bac de trempe après le début d'ouverture de la porte du four.

LA LIGNE DE DÉCAPAGE (fig. 3)

Le décapage du fil inoxydable en couronnes est une opération délicate en raison de la nature des

Figure 3. — Ligne de décapage.

oxydes formés à chaud et de la qualité recherchée, le fil devant être absolument débarrassé de toute trace d'oxyde sans altération de sa surface.

Pour obtenir à la fois une qualité irréprochable et une production importante en éliminant autant que possible les interventions humaines au voisinage des bains de décapage très agressifs utilisés, l'usine d'Ugine a choisi d'effectuer ce traitement dans un véritable automate.

Compte tenu de l'expérience antérieure de l'usine pour ce genre de traitement, il fallait, pour atteindre les objecifs fixés en qualité et en production, effectuer une dizaine d'opérations élémentaires successives comprenant notamment :

— des traitements en bains de sels fondus,

— des rinçages sous pression élevée,

— des traitements en bains chauds et concentrés d'acides forts.

La ligne construite comporte en définitive, compte tenu de la nécessité d'équilibrer les temps opératoires sur les différents postes et de prévoir, sans arrêt de la production, la réfection des bains usés, 17 stations de traitement élémentaire.

Les charges constituées à la sortie du four d'hypertrempe ont un poids unitaire de 500 à 1 000 kg.

Le transport des charges est assuré par 22 palans automoteurs circulant sur un monorail en boucle fermée et programmés à partir d'une armoire de commande centrale. Chaque palan occupe successivement les différents postes de traitement nécessaires pendant les durées prédéterminées.

En pratique, pour les nuances d'acier inoxydable courantes, la cadence d'entrée dans la ligne est de l'ordre de 8 palans à l'heure, soit 5 à 6,5 t/h suivant le poids unitaire des charges.

PROTECTION DU PERSONNEL ET DU MATÉRIEL. TRAITEMENT DES EFFLUENTS

La construction d'un tel ensemble mettant en œuvre des solutions fortement corrosives d'acides minéraux forts — dont l'acide chlorhydrique — et des sels fondus et très réactifs à température relativement élevée, a posé de nombreux problèmes d'installation.

Le stockage et le transport des acides, la captation des vapeurs, l'évacuation et le traitement des effluents ont été particulièrement étudiés.

En ce qui concerne notamment la captation des vapeurs, il était indispensable que celle-ci fût totale car le décapage, intégré dans la chaine de production, est implanté dans l'atelier même où s'effectuent en amont et en aval les opérations de traitement thermique, de contrôle et de conditionnement. De plus, le choix d'un type de bâtiment standard pour abriter l'ensemble impliquait qu'aucune contrainte due à la corrosion ne viendrait renchérir le coût de la construction.

L'installation de décapage se présente donc sous la forme d'un tunnel pratiquement étanche et en nette dépression par rapport à l'ensemble de l'atelier grâce à de puissantes aspirations.

Les palans automoteurs évoluent sur leur monorail au-dessus de ce tunnel : seuls le mât de levage et le crochet de manutention des charges en acier inoxydable pénètrent à l'intérieur de la zone corrosive au travers d'une étroite ouverture supérieure longitudinale.

Des portes verticales commandées par le déplacement des palans ferment l'entrée et la sortie du tunnel. Les zones de rinçage après traitement alcalin sont isolées des zones de traitement acide par d'autres portes intermédiaires et des groupes d'aspiration et de lavage de buées indépendants sont utilisés pour chacune des enceintes ainsi constituées (fig. 4).

L'efficacité de ces dispositifs d'assainissement est très bonne. L'atmosphère de l'atelier reste parfaitement saine et même l'ouverture des portes au passage des charges ne provoque aucune émission de vapeurs corrosives hors de la ligne de traitement.

Figure 4. — Aspiration des buées.

Figure 5. — Station de neutralisation.

Figure 6. — Chaine de conditionnement.

Le traitement des effluents est réalisé à l'extérieur, dans une station automatique de neutralisation (fig. 5) où les bains usés et les eaux de rinçage sont mélangés en proportion convenable, débarrassés des sels de chrome toxiques et neutralisés au lait de chaux. Les sels insolubles formés sont précipités par brassage, puis décantés et transportés par pompage vers un bassin d'épandage et d'évaporation.

CONTROLE DES PRODUITS

Après traitement thermique et décapage, les charges subissent un examen visuel complet pour la recherche des défauts éventuels de surface des chantiers appropriés.

Un prélèvement est effectué aux extrémités de chaque couronne et les échantillons transmis à un poste de contrôle métallurgique pour vérification de la composition chimique et des caractéristiques dimensionnelles et mécaniques du produit.

Suivant le résultat de ces examens, les couronnes sont acceptées en totalité ou partiellement après élimination éventuelle des parties reconnues défectueuses, et stockées en attente de conditionnement.

CONDITIONNEMENT ET MAGASINAGE

La constitution d'unités de livraison capables de conserver, jusqu'à leur arrivée chez l'utilisateur, un aspect satisfaisant en ce qui concerne la forme et la qualité du produit, exige un paquetage solide et rationnel souvent complété par un emballage.

Il faut également à ce stade peser et repérer chaque couronne et chaque unité de livraison pour permettre l'établissement des documents comptables et l'identification des produits.

Là encore, les impératifs de qualité et de rendement ont conduit à rechercher une automatisation poussée des opérations et des déplacements.

Le conditionnement des couronnes est réalisé sur une chaine transfert (fig. 6) avec convoyeur à rouleaux qui permet d'effectuer successivement et automatiquement les opérations principales suivantes :

— pesage électronique avec impression simultanée des documents d'identification, de stockage et d'expédition ;

Figure 7. — Magasin de stockage. Entrée des charges.

Figure 8. — Magasin de stockage. Sortie des charges.

— compactage et cerclage individuel des couronnes ;

— emballage ;

— empilage pour constitution de paquets de deux à six couronnes ;

— compactage et cerclage des paquets ;

— dépose des paquets sur le convoyeur d'entrée du stockage.

Les transferts entre postes ainsi que la mise en service des différentes stations automatiques sont commandées par une armoire logique centrale prenant en charge chaque couronne dès sa dépose sur la ligne de rouleaux et contrôlant sa progression grâce à une série de barrières photoélectriques.

La cadence de traitement obtenue est de l'ordre de une couronne par minute.

A la sortie de la chaîne transfert, les paquets sont à nouveau pris en charge par un automatisme électronique pour le magasinage.

Le magasin proprement dit (fig. 7) est capable, grâce à trois transtockeurs automatiques desservant six travées à douze niveaux, d'assurer le rangement et la reprise de 3 000 unités de stockage d'un poids maximum de 1 200 kg.

La commande des convoyeurs d'entrée et de sortie ainsi que celle des transtockeurs est obtenue par l'introduction dans un lecteur électronique d'une carte perforée correspondant à chaque charge traitée.

Lors du déstockage pour expédition, les convoyeurs de sortie distribuent les charges sur des basculeurs de reprise (fig. 8). Le chargement des camions ou wagons s'effectue alors par chariot à éperon ou pont roulant suivant l'accessibilité des véhicules utilisés.

CONCLUSION

Le nouvel atelier de parachèvement des fils d'acier inoxydables à l'usine d'Ugine de la Société Ugine Aciers constitue un ensemble de production homogène où l'automatisme poussé des opérations et des transferts permet d'obtenir une excellente qualité des produits dans les meilleures conditions de travail.

L'efficacité de ce nouvel outil permettra à la Société Ugine Aciers, tant en France qu'à l'exportation, d'améliorer encore un service déjà apprécié par de nombreux utilisateurs en France et à l'Etranger et de développer ainsi les positions très importantes déjà acquises dans un secteur à potentiel de croissance élevé.

DEBAT PUBLIC SUR LE THEME
« RECHERCHE TECHNIQUE ET ENVIRONNEMENT »
(Paris, 24 novembre 1972)

Ce débat, organisé par l'Association Nationale de la Recherche Technique, aura lieu à l'Hôtel Intercontinental, 3, rue de Castiglione, Paris-1er.

Il débutera à 9 heures. Participation facultative à un déjeuner servi dans les salons de l'Hôtel International (prix du déjeuner : 72 F).

●

SYMPOSIUM INTERNATIONAL
SUR LES
METHODES MODERNES D'ANALYSE DES SURFACES
(Francfort-sur-le-Main, 4-5 décembre 1972)

Organisé par la Deutsche Gesellschaft für chemisches Apparatewesen et par la Deutsche Arbeitsgemeinschaft Vakuum, ce symposium aura lieu à la Dechema Haus, 25, Theodor Heuss Allee.

Au programme, 12 communications et une « table ronde » le 5 décembre après-midi.

Droit d'inscription : DM 150, donnant droit aux prétirages des textes des communications.

Renseignements complémentaires et incriptions à :

Dechema Haus
25, Theodor Heuss Allee
Frankfurt (M)
Allemagne.

●

JOURNEES D'ETUDE SUR LE FLUAGE
ET LA RELAXATION DES ACIERS
(Lyon, 5-7 décembre 1972)

Le Centre d'Actualisation scientifique et technique organisé à l'INSA, avec le concours de la Section régionale du Sud-Est de la Société Française de Métallurgie, 3 journées sur le fluage et la relaxation des aciers.

Quatorze communications sont inscrites au programme.

Frais d'inscription : 600 F, comprenant les 3 repas de midi et la documentation complète.

Pour l'hébergement à la résidence universitaire de l'INSA et les repas du soir, ajouter 75 F.

Inscription au C.A.S.T. Association des anciens élèves de l'INSA, CCP 5467-05 Lyon.

●

7e CONFERENCE INTERNATIONALE
SUR LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS
(Varsovie, 4-8 janvier 1973)

Les bulletins d'inscription définitive et toutes informations complémentaires peuvent être obtenus au Secrétariat Général du COFREND, 32, boulevard de la Chapelle, 75880 Paris CEDEX 18.

●

JOURNEES SUR LES AIMANTS PERMANENTS
(Paris, 6-7 février 1973)

Ces Journées, organisées par la Chambre Syndicale des Producteurs d'Aciers Fins et Spéciaux, la Société des Electriciens, des Electroniciens et des Radioélectriciens et la Chambre Syndicale des Producteurs d'aimants permanents métallurgiques, se dérouleront à l'hôtel PLM Saint-Jacques, 17, boulevard Saint-Jacques, Paris-14e.

Le nombre de places étant limité, il est recommandé de s'inscrire **avant le 15 janvier 1973.**

Frais d'inscription : 150 F, portés à 200 F pour les inscriptions tardives, à verser à la SEMAS, 12, rue de Madrid, Paris-8e (CCP 7422-87 Paris).

●

FOIRE INTERNATIONALE DE BARCELONE
(2-12 juin 1973)

Cette foire, qui comporte aussi des Journées techniques, comprend notamment un secteur métallurgie et mécanique, présentant les techniques et matériels de traitement de surfaces et de soudage.

bibliographie

COLIN (J.). **Mes voyages dans le monde des ingénieurs.** — Un vol. 13,5 × 20 de 254 pages, édité par Technoffset, 48, boulevard de Courtais, 03 - Montluçon. Prix TTC : 22 F, frais d'envoi compris.

L'auteur, ingénieur civil des Mines, a fait sa carrière dans l'industrie sidérurgique et dans celle des métaux non ferreux.

Les diverses fonctions qu'il a occupées lui ont fourni l'occasion de visiter plus de 150 usines dans les 20 nations les plus industrialisées du monde et il a eu de nombreux contacts avec les ingénieurs et cadres, ce qui lui a permis d'étudier leur valeur, leur tempérament et leur comportement, parfois très différents des nôtres.

Les méthodes de gestion et les structures des industries étrangères, susceptibles de présenter de l'intérêt pour notre pays, y sont discutées.

L'ouvrage ne traite pas de technique. Comme son titre l'indique, c'est un journal de voyage, qui ne présente que des faits vécus, rapportés souvent sous une forme anecdotique, et cherchant à mettre en relief les traits particuliers des intéressés.

L'ouvrage se termine par un examen critique de la situation des ingénieurs en France, où l'auteur expose ses vues sur l'organisation des grandes entreprises.

●

L'Institut für Härterei Technik, de Brème, et la Société Française de Métallurgie ont organisé en commun, en mai 1972, à Salzbourg, un Colloque International pour l'étude des traitements thermiques, colloque au cours duquel ont été présentées 28 communications.

Les prétirages de ces communications ont été réunis en un volume que l'on peut se procurer auprès de :

Institut für Härterei-Technik
282 Bremen 77
Postfach 77 02 07.

Prix : DM 60, plus les frais d'expédition.

•

The Institution of Mining and Metallurgy annonce la parution de l'ouvrage **Advances in extractive metallurgy and refining** (Progrès en métallurgie extractive et en raffinage). — Cet ouvrage de 63 pages rassemble les 30 communications présentées au Symposium international tenu à Londres du 4 au 6 septembre 1971.

Principaux sujets traités : procédés continus, équilibres, cinétique des procédés, hydrométallurgie, sources d'énergie, procédés pneumatiques, emploi de l'oxygène et électrolyse des sels fondus, contrôle du procédé, techniques nouvelles, récupération des sous-produits.

Prix : £ 12.00. En vente au Secrétariat de l'Institution of Mining and Metallurgy, 44, Portland Place, London W1N 4BR.

•

L'Institut de Recherches de la Sidérurgie Française (IRSID - Saint-Germain-en-Laye) communique :

« RECUEIL DE RESULTATS D'ESSAIS DE RUPTURE PAR FLUAGE SUR DES ACIERS DE FABRICATION FRANÇAISE »

La détermination des caractéristiques utilisables dans le calcul des constructions travaillant à chaud nécessitait l'exécution de nombreux essais afin d'établir les diagrammes de rupture par fluage des aciers les plus utilisés.

La Commission des Essais à Chaud de l'IRSID fut chargée de coordonner les travaux sur le plan français et d'en assurer la centralisation et le dépouillement.

Ce recueil de résultats d'essais est donc le fruit d'un important travail collectif de plusieurs années.

Les essais ont été effectués dans les laboratoires des aciéries productrices d'aciers résistant à chaud ainsi qu'à l'IRSID et dans le laboratoire de fluage de l'E.D.F. (Direction de l'Equipement). Les résultats, rassemblés et dépouillés à l'IRSID, ont été répartis en quatre chapitres correspondant chacun à l'un des types d'aciers suivants :

— Acier au Cr-Mo (Cr $<$ 5 %).
— Aciers au Cr-Mo-V.
— Aciers à haute teneur en Cr (Cr $>$ 5 %).
— Aciers austénitiques.

Ils seront complétés ultérieurement par un chapitre sur les aciers au carbone et peu alliés.

En raison des précautions prises dès l'origine pour la définition des nuances et pour l'exécution des essais, les résultats obtenus constituent, pour chacun des types d'aciers étudiés, un ensemble cohérent dont l'exploitation a permis, en liaison avec l'A.T.S. (Association Technique de la Sidérurgie), le B.N.S. (Bureau de Normalisation de la Sidérurgie) et le B.N.T.A. (Bureau de Normalisation des Tubes d'Acier), de définir ou de préciser les valeurs figurant dans les normes françaises relatives aux aciers pour emplois à chaud.

Ce recueil peut être obtenu auprès de :

C P S - Service édition
B.P. 710 08.
75360 Paris CEDEX 08

ou :

A F N O R
Tour Europe
92080 Paris La Défense CEDEX 07

au prix unitaire de 120 F HT (port en sus).

TABLE DES ANNONCEURS

	Dans ce N° : Pages
A	
ALCOA	2e couv.
ALSTHOM C.G.E.	VI
AMSLER	
A.N.F.	
AUBERT & DUVAL	XII
B	
BABCOCK ATLANTIQUE	XV
BALZERS	
BERLIET	XXXVIII
BROCHOT	XLIV
C	
CARL ZEISS	XXIX
CEC	
CEM	XIX
CETAP	XXXVI
CHATILLON COMMENTRY BIACHE	XL
CHAUVIN ARNOUX	
CHIERS (Hauts Fourneaux de la)	
COCKERILL OUGREE	XLVI
COLLY	XLVII
COMPAGNIE EUROPEENNE DE TRAITEMENT DES EAUX	XXVII
COMPAGNIE FRANÇAISE DES CONVOYEURS	
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE	
COMPAGNIE TECHNIQUE DES PETROLES	XII
COMPTOIR DES PRODUITS MAGNESIENS	
CONILLEAU (MANUCAC)	
CREUSOT-LOIRE METALLURGIE	
D	
DANGO & DIEMENTHAL	
DAVY ASHMORE	
DELATTRE LEVIVIER	
DEMAG	XIII
DUJARDIN - MONTBARD - SOMENOR	XLVI
DYNATEC	XXVI
E	
E.D.F.	XXXIII
ELECTRO NITE	
ELECTRO REFRACTAIRE	
ELIOTT AUTOMATION	
F	
FERRY CAPITAIN	LVI
F.I.C.A.	
FIVES-LILLE-CAIL	V
FONDERIES DE NOGENT	XLII
FOURNIER MOUILLON	XXII
FOURS AUBE	XX
FOURS ROUSSEAU	
FOXBORO	XXXVII
G	
GAZ DE FRANCE	
G.H.H. STERKRADE	
GLAENZER SPICER	XXXII
H	
HARTMANN & BRAUN	
HEURTEY	LV
HOESTEMBERGHE & KLUTSCH	
I	
INTERLABE	
INTERMED	XXXVI
INSTRON	
J	
JEOLCO	
JEUMONT SCHNEIDER	XI
JOHNS MANVILLE	LI
K	
KODAK	
KONGSBERG FRANCE	XXVIII
L	
LA DOLOMIE FRANÇAISE	XLII
LEGENISEL & BLANCHARD	
LEITZ FRANCE	XXIV
LES ENFANTS DE MERCIER	XXX
LUDVIG OFAG	XXXI
LUMMUS	XIV

	Dans ce N° : Pages
M	
MACHINOEXPORT	XXX
MACHINOEXPORT	XL
MACHINOEXPORT	XLIV
M.A.I.R.	XXI
MARREL FRERES	XLV
MINEMET	
MINGORI	4e couv.
MORGANITE CERAMIC FIBRE	
MORGAN THERMIC	
MOURATILLE	XXXVI
N	
NEU	XLVIII
NEUVES MAISONS CHATILLON (ACIERIES)	
NEWALLS INSULATION	
NEYRPIC	
NOBEL HOESCHT	XLI
O	
OMNIUM D'ASSAINISSEMENT	L
ONIA GEGI	
OSI	
OZONAIR	
P	
PECHINEY-UGINE-KUHLMANN	XVI
PEQUIN	XLII
PHILIPS	
POLYSIUS	XLIX
POLYSIUS	LIII
PRAT DANIEL POELMAN	
PROST	VII
R	
RADEX	X
ROYALE ASTURIENNE	
S	
S.A.F.T.P.	
SAINT-GOBAIN ELECRO-REFRACTAIRE	
SAMM	
SAULNES & UCKANGE	
SCHENCK	XXXV
SCHLOEMANN AG	LII
SCOM	VIII
SECIM SPIDEM	LIV
SECOSAR	
SEFRAM	XVIII
SETREM	
SIEMENS	
SMAP	
SOCIETE FRANÇAISE DE MINERAIS ET METAUX	
SOCIETE GENERALE DES PRODUITS REFRACTAIRES	IX
SOCIETE METALLURGIQUE DE NORMANDIE	XXII
SOCIETE NOUVELLE DES ACIERIES DE POMPEY	XXVI
SOFRANCE	XXX
SPRUNCK	XVI
T	
TECHNOM	
TESTWELL	XXXIV
TRAYVOU	
TRINDEL	XIV
TRINDEL	3e couv.
TUBES DE CHEVILLON	
TUBES DE NORMANDIE	
TUBES DE LA PROVIDENCE	XLIII
U	
UGINE GUEUGNON	XVII
UGINE INFRA	XXIII
UGIVIS	XVIII
USINOR	XXV
V	
VALLOUREC	
VEITSCHER MAGNESIT	
VON ROLL	
W	
WENDEL SIDELOR	
WERNER PFLEIDERER	

S.I.L., 48, rue de Lancry, Paris (10e) Dépôt légal 4e trimestre n° 636 *Le Directeur de la Publication :* Max DUPONT

EQUIPEMENTS DE MESURE ET D'AUTOMATISATION

La division automatisme du siège d'exploitation Nord-Est de TRINDEL à UCKANGE, a réalisé depuis 1963 plus de 30 Installations d'analyse de gaz complètes sous licence IRSID.

— Analyse de gaz de gueulard de H.F.
— Analyse de gaz de cowpers.
— Analyse de gaz de cuve H.F.
— Analyse de gaz de convertisseurs.
— Analyse de gaz de four.
— Analyse d'humidité.

Elle développe actuellement la spectrométrie de masse appliquée à l'analyse de gaz sidérurgiques, qui permet des temps de réponse courts et identiques et l'analyse directe de l'azote et de l'argon.

réalise également des périphériques spécialisés pour calculateur de processus (Demultiplexeurs ultiplexeurs rapides, pupitres d'entrées de données).

ingénieurs et techniciens de la division Automatisme du Siège d'Exploitation Nord-Est de IDEL à UCKANGE, sont à la disposition des responsables techniques, des utilisateurs pour ıiner avec eux les problèmes qui peuvent recevoir une solution grâce à l'utilisation des sys-ıs TRINDEL et notamment :

— ensemble d'analyse de gaz
— démultiplexeur ES 1000
— micromodules électroniques
— pupitres

Documentation détaillée envoyée sur demande à :

TRINDEL

44, rue de Lisbonne, PARIS - Tél. : 522-19-09

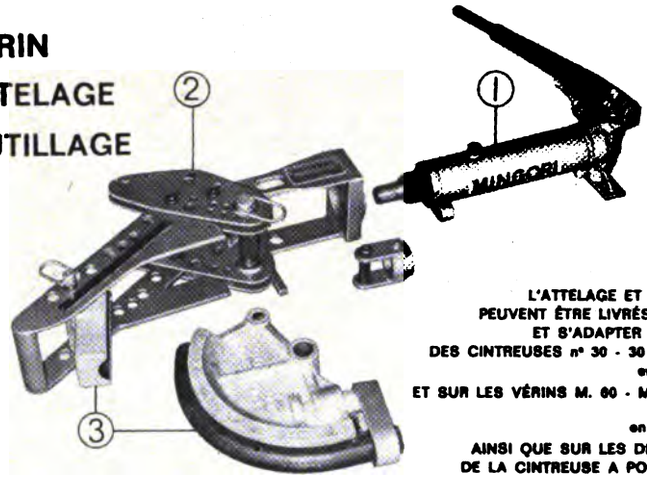
ision Automatisme du Siège d'Exploitation TRINDEL Nord-Est

1, rue de la Champagnerie, 59-UCKANGE - Tél. : 50-41-62

CINTREUSE MINGORI
"vérin oscillant"
SYSTÈME (breveté)

CETTE MACHINE TRAVAILLE
PAR ENROULEMENT DU TUBE SUR LA FORME,
PAR L'INTERMÉDIAIRE D'UNE CONTRE FORME.
LE MOUVEMENT DE ROTATION DE LA FORME
EST DONNÉ PAR LE VÉRIN DE LA MACHINE.
ELLE PEUT CINTRER A UN ANGLE D'ENVIRON 100°

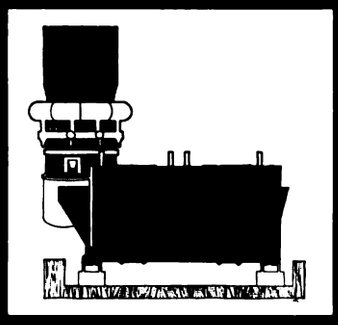
① VÉRIN
② ATTELAGE
③ OUTILLAGE

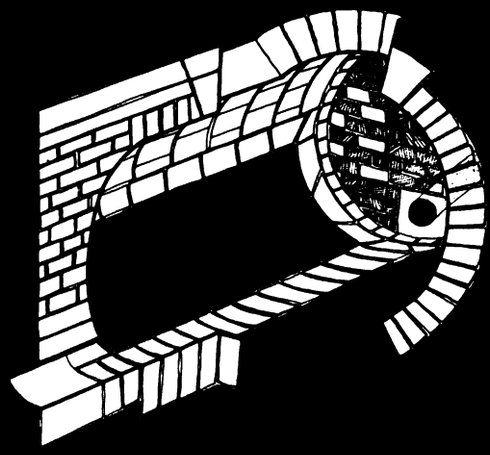


L'ATTELAGE ET LES OUTILLAGES
PEUVENT ÊTRE LIVRÉS SANS LE VÉRIN
ET S'ADAPTER SUR LES VÉRINS
DES CINTREUSES n° 30 - 30 bis - 32 - 35 - 20
en version manuelle
ET SUR LES VÉRINS M. 60 - M. 60 bis - M. 64 -
M. 40 Ti - M. 70
en version électrique
AINSI QUE SUR LES DIFFÉRENTS TYPES
DE LA CINTREUSE A POUSSÉE LATÉRALE

CETTE MACHINE EST PARTICULIEREMENT RECOMMANDEE :
AUX SERRURIERS : POUR LES TUBES 101 - 102 - 103 - 105
AUX TUYAUTEURS : SURTOUT POUR CEUX UTILISANT LES TUBES

Les fonderies russes obtiennent d'excellents résultats de longévité avec les fours à induction à canal: le revêtement est fait de réfractaires à base d'Alumine Tabulaire.





revue de métallurgie

Fondée en 1904 par Henry Le Chatelier

Présidents honoraires : Eugène Dupuy, Georges Delbart

Président-Directeur Général : René Castro

REDACTION ET ADMINISTRATION : 47, rue Boissière, Paris-16e - Tél. : 553-81-30

Régisseur de la Publicité : REGIE PUBLICITE INDUSTRIELLE

36, rue du Fer-à-Moulin, Paris-5e — Téléphone 707-53-39

ANNÉE **NOVEMBRE 1972** **N° 11**

formations économiques

La demande d'acier devrait continuer à augmenter modérément en 1973, prévoit l'Institut International de l'Acier (I.I.S.I.) .. 237 - E

Création, à Zurich, d'une société pour le négoce de l'acier et de l'aluminium sur le marché européen .. 246 - E

L'activité des négociants stockistes allemands en 1971 .. 247 - E

L'approvisionnement de la sidérurgie belge en matières premières en 1971 .. 249 - E

Les transports en provenance ou à destination de la sidérurgie belge en 1971 .. 252 - E

Le développement de la sidérurgie turque .. 253 - E

Développement de la sidérurgie iranienne .. 256 - E

émoires techniques présentés aux 11èmes Journées des Aciers Spéciaux, à Saint-Etienne, 4-5 mai 1972.

Antoine, M. Cadart, J. Caillard, M. Debras, J.Y. Maléfant : **Elaboration des aciers inoxydables par affinage sous vide** .. 717

Description du procédé A.S.V. utilisé à l'usine de Firminy de la Société Creusot-Loire : on fond au four à arc une charge contenant tout le chrome nécessaire à l'analyse finale, puis on souffle de l'oxygène pour obtenir une teneur en C < 0,5 %, on coule en poche entre 1 520 et 1 620°C et l'on place la poche dans une enceinte sous vide. La décarburation se fait par injection d'oxygène. On obtient ainsi des teneurs en C < 0,015 % et un acier très propre. Economie du procédé.

Tricot, B. Champin, D. Thivellier : **Influence d'une addition de bore sur les propriétés d'emploi des aciers de construction** .. 721

Etude des améliorations que l'on peut apporter à diverses nuances d'aciers par une addition de bore ; action du bore sur la trempabilité, la ténacité, la forgeabilité, la fatigue, l'usinabilité, la réponse au traitement thermique et à la cémentation. Précautions à prendre lors de l'utilisation d'aciers au bore.

M. Palmier, J. Comon, J. Dollet : **Stabilité en service d'aciers faiblement alliés pour emplois à chaud sous contrainte** .. 737

Etude de trois nuances d'aciers soudables pour réacteurs à pression, du type 10 CD 9-10, 10 CD 12-10 et 20 CD 10-10, à l'état normalisé revenu, trempé fortement revenu, et trempé faiblement revenu. Conditions de vieillissement : température 450 à 550°C, durée 1 000 à 10 000 h. Etude de la stabilité par microscopie électronique, microanalyse et diffraction X sur précipités et par microfractographie au stéréocan et sur répliques. Résultats.

Fondeviole, R. Boulisset, J. Comon, U. Schieferstein : **Etude statistique de certaines propriétés des rotors de turbines travaillant à chaud** .. 753

Résultats de l'analyse statistique d'un grand nombre d'essais de fluage effectués en Grande-Bretagne, en Allemagne et en France sur des rotors en aciers à 1 % Cr-Mo-V. Influence de la résistance à température ambiante, de la structure (indice de trempe) et des conditions d'essais (température et temps). Conditions optimales de composition chimique et de traitement thermique en fonction du diamètre du rotor et des propriétés visées.

Levert, M. Hubert, C. Messager : **Réalisation d'un simulateur de cycles thermiques de soudage** 767

Principe du fonctionnement de l'appareil ; évaluation quantitative de l'inertie thermique d'un thermocouple Pt/Pt-Rh soudé par étincelage à 1 mm sous la surface d'une éprouvette par rapport à un pyromètre électronique pointé à l'emplacement de la soudure chaude sous-jacente. Description et utilisation de l'appareil.

Davin, D. Coutsouradis, L. Habraken : **Propriétés d'un superalliage de cobalt résistant à la corrosion à chaud** .. 781

Recherche d'un alliage ayant une grande résistance à la corrosion, tout en possédant des caractéristiques mécaniques acceptables. Composition chimique des alliages S 57, du type Co-Cr-Al-Ta-V. Une addition de 0,6 % C, 0,1 % B, 0,8 % Zr et 7 % W confère à cet alliage une résistance au fluage sensiblement égale à celle de l'alliage commercial X 40 sans altérer sa tenue à la corrosion à chaud.

mmaire des Mémoires Scientifiques .. 736

is, Congrès, Manifestations .. 789

L. Antoine, M. Cadart, J. Caillard, M. Debras, J.Y. Maléfant : **Elaboración de los aceros inoxidables por afino bajo vacio** 717

Descripción del procedimiento A.S.V. utilizado en la fabrica de Firminy de la Société Creusot-Loire : se funde en el horno de arco una carga conteniendo todo el cromo necesario para el análisis final, después se inyecta oxigeno para obtener un contenido en C < 0,5 %, se cuela en cuchara entre 1520 et 1620°C y se coloca la cuchara en un recinto bajo vacio. La decarburación se hace por inyección de oxigeno. Obteniendose asi los contenidos de C < 0,015 % y un acero muy puro. Economia del procedimiento.

R. Tricot, B. Champin, D. Thivellier : **Influencia de una adición de boro sobre las propiedades de empleo en los aceros de construcción** 721

Estudio de las mejoras que se pueden aportar a diversos clases de acero por una adición de boro ; adición del boro sobre la templabilidad, la tenacidad, forjeabilidad, la fatiga, la maquinabilidad, la respuesta al tratamiento térmico y en la cementación. Precauciones a tomar en el momento de la utilización de los aceros al boro.

Mme M. Palmier, J. Comon, J. Dollet : **Estabilidad en el servicio de los aceros debilmente aleodos para empleos en caliente bajo tensión** 737

Estudio de tres clases de aceros soldables para reactores a presión, del tipo 10 CD 9-10, 10 CD 12-10 y 20 CND 10-10, en el estado normalizado revenido, temple fuertemente revenido, y temple debilmente revenido. Condiciones de envejecimiento : temperatura 450 a 550°C, duración 1 000 a 10 000 h. Estudio de la estabilidad por microscópio electronico, microanálisis y difracción X sobre precipitados y por microfractografía y sus replicas. Resultados.

M. Fondeviole, R. Boulisset, J. Comon, U. Schieferstein : **Estudio estadistico de ciertas propiedades de los rotores de turbinas trabajando en caliente** 753

Resultados de los análisis estadisticos de un gran numero de ensayos de fluencia efectuado en Gran Bretaña, en Alemania y en Francia sobre los rotores en aceros con 1 % Cr-Mo-V. Influencia de la resistencia a temperatura ambiente, de la estructura (indice de temple) y de las condiciones de ensayo (temperatura y tiempo). Condiciones optimas de composición quimica y de tratamiento térmico en función del diametro del rotor y de las propiedades apuntadas.

D. Levert, M. Hubert, C. Messager : **Realización de un similador de ciclos termicos de soldage** 767

Principio del funcionamiento de el aparato ; evaluación cuantitative de la inércia térmica de un termopar Pt/Pt-Rh soldado por chispa a 1 mm bajo la superficie de una probeta en relación a un pirómetro electrónico apuntado en el emplazamiento de la soldadura caliente subyacente. Descripción y utilización del aparato.

A. Davin, D. Coutsouradis, L. Habraken : **Propiedades de una superaleación de cobalto resistente a la corrosión en caliente** 781

Investigación de una aleación que tenga una gran resistencia a la corrosión, poseyendo caracteristicas mecánicas aceptables. Composicioón quimica de las aleaciones estudiadas, derivadas de la aleación S 57, del tipo Co-Cr-Al-Ta-V. Una adición de 0,6 % C, 0,1 % B, 0,8 % Zr y 7 % W confiere a esta aleación una resistencia a la fluencia sensiblemente igual a aquella de la aleación comercial X 40 sin alterar su comportamiento a la corrosión en caliente.

Tarif des abonnements 1973

Abonnement à la « Revue de Métallurgie » : France, Union Française	195 F	Etranger	240 F
le numéro	19 F	le numéro	23 F
Abonnement aux « Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie » : France, Union Française	195 F	Etranger	240 F
le numéro	19 F	le numéro	23 F
Tarif couplé pour l'abonnement aux deux publications France, Union Française	365 F	Etranger	435 F

les aérateurs de surface
ODA/NEYRPIC

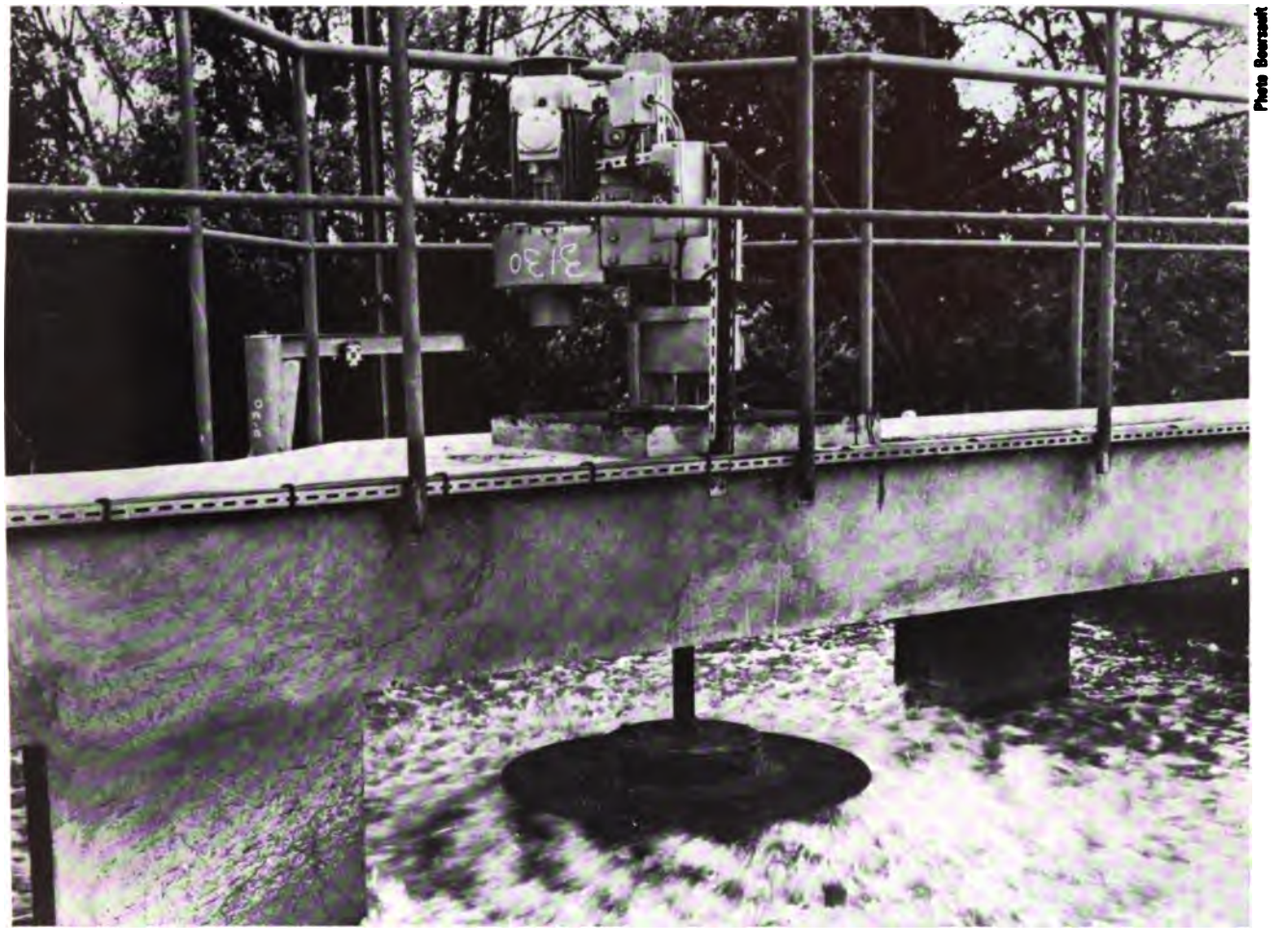


Photo Beursault

Lorsque l'aération de surface s'avère la mieux adaptée, qu'il s'agisse de mélanger, d'homogénéiser ou d'oxyder les eaux, **l'Omnium d'Assainissement** et **Neyrpic** (division de la Société **Alsthom**) apportent leur solution.

Unissant leurs techniques de traiteurs d'eau et d'hydrauliciens, ils ont défini une gamme d'appareils de conception intégralement française : "les aérateurs de surface **ODA Neyrpic**".

Plus de 200 aérateurs ODA Neyrpic équipent à ce jour des installations de traitement d'eaux usées de toute nature. Parmi les plus importantes, citons :

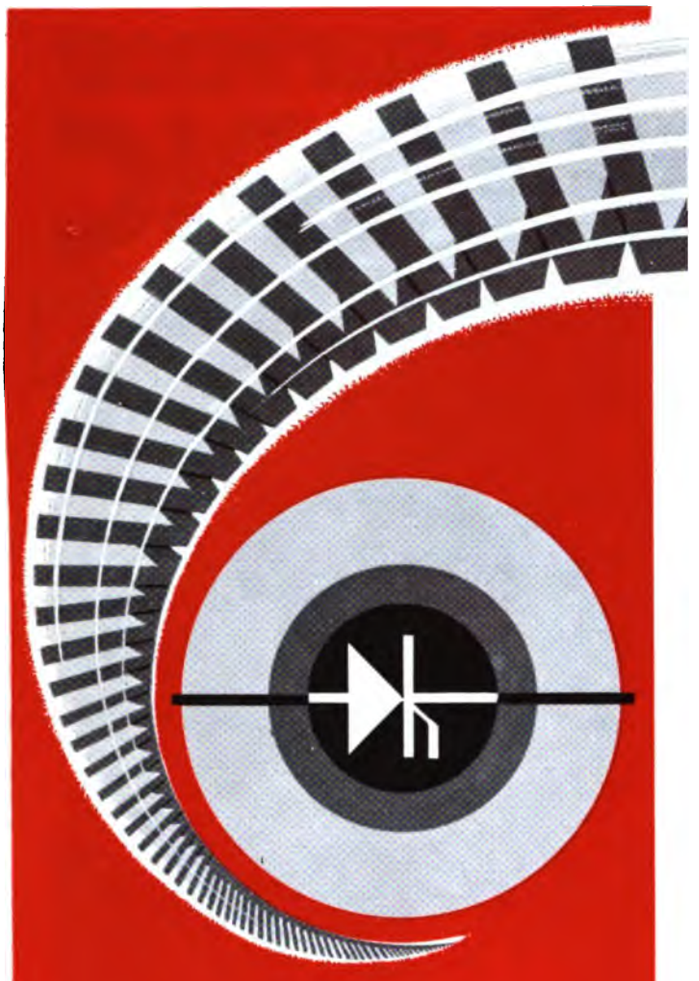
- complexes pétrochimiques de Rimnicu Vilcea et Pitesti (Roumanie),
- ensemble mixte de Boulogne-sur-Mer,
- complexe papetier de la Cellulose des Ardennes.

innovente paris

ODA

Omnium d'assainissement

Spécialiste du traitement des eaux résiduaires.
11 rue Roger Bacon 75-Paris 17 / 754.27.09 & 64.91



POUR MOTEURS A COURANT CONTINU

babytrol — 0,5 à 14 kW
MONOPHASÉ
UNIDIRECTIONNEL

JiStrol — 5 à 10 000 kW
TRIPHASÉ
UNIDIRECTIONNEL

JiStor — 5 à 10 000 kW
TRIPHASÉ
BIDIRECTIONNEL

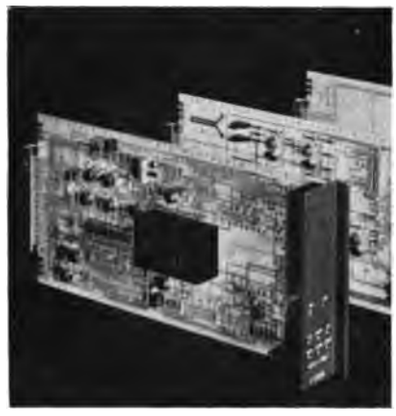
POUR MOTEURS ASYNCHRONES A BAGUES

JiSflow — A partir de 100 kW
Avec récupération de l'énergie rotorique.

Maintenant tous les systèmes de régulation électronique tiennent dans un jeu de 17 cartus.

C'est le nouveau pas franchi par Foxboro dans le domaine de la régulation industrielle.
Un pas décisif : **SPEC 200,** un ensemble électronique simplifié capable de résoudre tous les problèmes de contrôle et de régulation et d'abaisser les coûts d'installation et d'exploitation.

A la base de **SPEC 200:** une idée radicalement différente qui permet l'utilisation de 17 platines-circuit embrochables. Les nombreuses combinaisons possibles engendrent, selon vos besoins spécifiques, les diverses fonctions : conversion de signaux, régulation, calcul analogique...



Une platine-circuit embrochable par fonction.

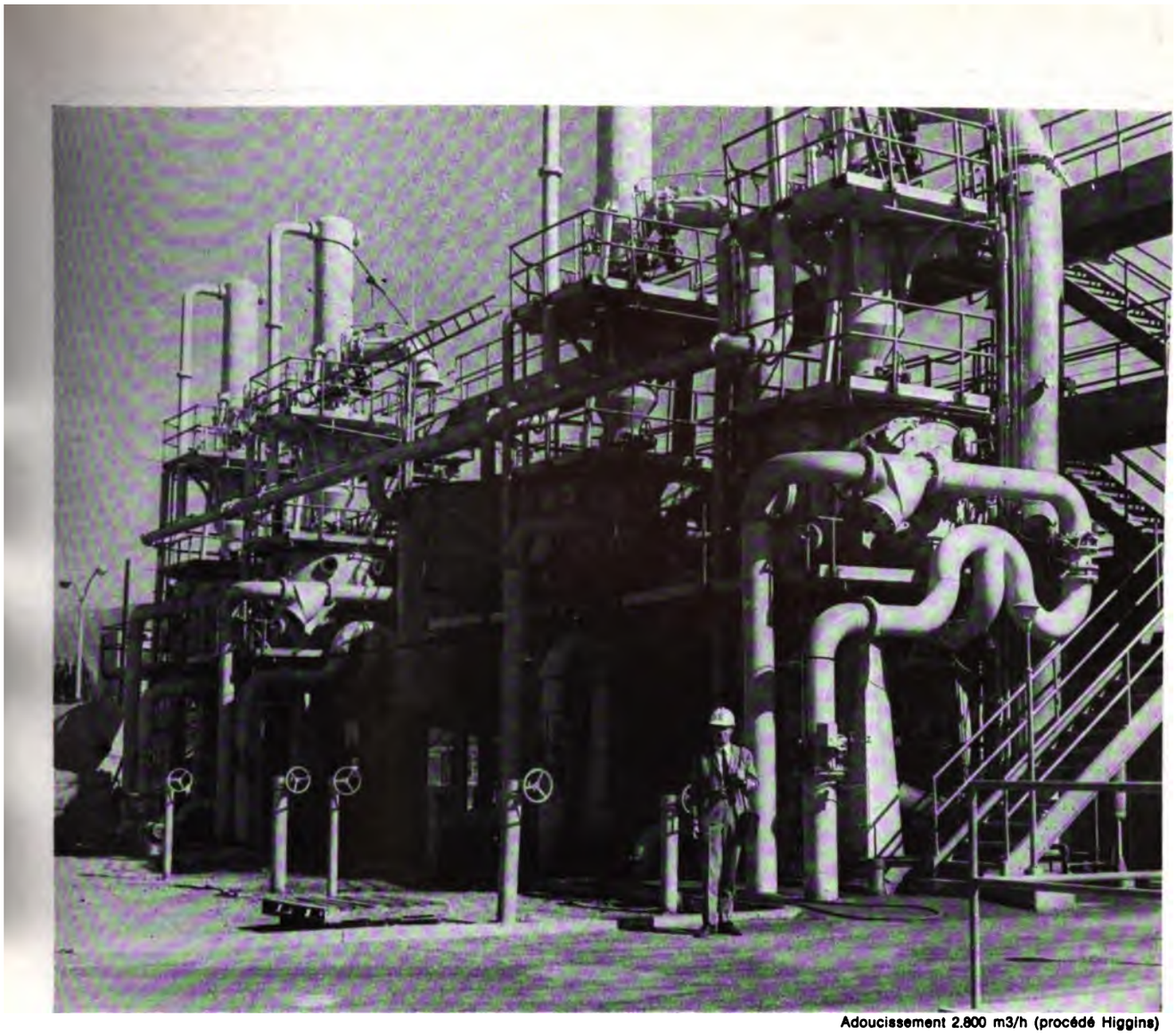
Grâce à cette conception modulaire originale, le **SPEC 200** apporte une flexibilité dans l'étude et une facilité d'exploitation jamais atteintes. C'est la solution d'aujourd'hui pour la régulation des usines productrices d'énergie ou de transformation : chimie, pétrole et gaz, industrie papetière, métallurgie, industrie alimentaire, textile, etc.

Système analogique présenté sous forme d'un ensemble complet, le **SPEC 200** est aussi parfaitement compatible avec les calculateurs numériques. C'est le rôle d'Interspec, sous-ensemble de liaison du **SPEC 200,** qui constitue un véritable interface entre les domaines analogiques et numériques. Avec le **SPEC 200** Foxboro vous offre la régulation "à la carte".

SPEC 200
FOXBORO

FOXBORO FRANCE S.A.
92 bd Victor-Hugo 92 - Clichy Tél. 270.63.00

6 agences en France : Paris-Clichy, Lyon, Strasbourg, Arras, Aix-en-Provence, Nantes.



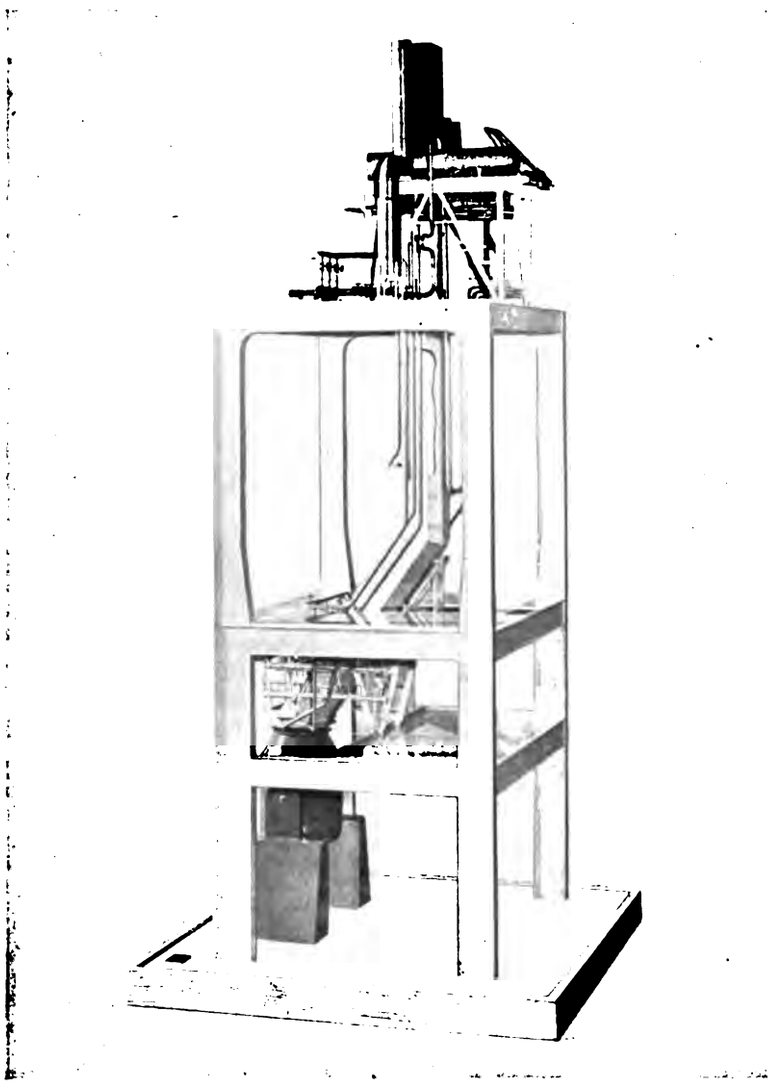
Adoucissement 2.800 m3/h (procédé Higgins)

CTE : de l'eau ennoblie au coût le plus bas.

La différence n'est pas mince.
A chacun de vos problèmes d'eau industrielle (fabrication, alimentation, refroidissement), C.T.E. vous propose le traitement et l'installation les plus fiables, les moins coûteux à l'exploitation et technologiquement les plus avancés, pour un résultat garanti.
La maîtrise de l'expérience de C.T.E. et les hommes qui s'y trouvent réunis, vous apportent plus.

Compagnie Européenne de Traitement des Eaux
4, rue du Général Foy / Paris 8e / Tél. 522.78.90

innovente-paris



Babcock-Atlantique au Chili :

A Huachipato, au Chili, la Compañia de Acero del Pacifico (Engineering Sofresid) a entrepris la construction d'une aciérie à l'oxygène qui comprend deux convertisseurs LD de 110 t.

Un troisième convertisseur est prévu dans une phase ultérieure.

L'installation de captation des fumées comprenant des cheminées sous pression à vapeur perdue a été confiée à Babcock-Atlantique.

Deux particularités caractérisent l'installation : l'adoption de hottes mobiles pour l'accès aux convertisseurs et la construction en tubes ronds membranés permettant de supprimer le casing.

Les cheminées tubulaires fixes fonctionnent en circulation naturelle, alors que la circulation dans les hottes mobiles est assistée par des pompes. Commun à la cheminée et à la hotte, le réservoir assure la séparation eau-vapeur. La vapeur produite est ensuite mise à l'air libre par l'intermédiaire d'un silencieux.

Les risques de séismes ont nécessité une étude très poussée des matériels. C'est ainsi, notamment, que le chariot support de la hotte mobile est un véritable pont roulant capable de résister à des efforts sismiques importants.

De plus, chaque unité comporte un appareil permettant l'inspection et l'entretien de la cheminée.

Babcock-Atlantique a conçu et réalisé l'installation complète de refroidissement. Celle-ci présente les principales caractéristiques suivantes :

- timbre : 26 bar
- pression de fonctionnement : 23 bar
- vaporisation unitaire en pointe : 143 t/h.

La sidérurgie progresse

BABCOCK-ATLANTIQUE

est présente.

Babcock-Atlantique étudie et construit des installations complètes pour la captation, le refroidissement et le dépoussiérage des gaz de convertisseurs soufflés à l'oxygène.

Les cheminées de captation, en tubes carrés jointifs ou en tubes membranés, constituent l'élément principal des différents systèmes de refroidissement proposés par Babcock-Atlantique :

- refroidissement par circulation d'eau, avec ou sans pression
- refroidissement par vaporisation, avec ou sans récupération d'énergie.

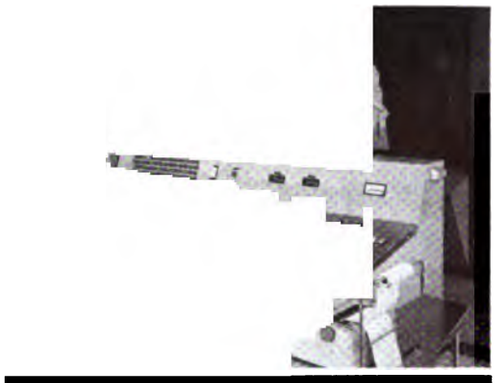
Outre l'équipement de la SMN Mondeville, qui constitue une première dans la sidérurgie française, Babcock-Atlantique compte parmi ses réalisations les plus récentes, des installations pour SOFRESID : SNS - El Hadjar, CAP-Chili et avec FLC : COSIPA-Brésil.

BABCOCK-ATLANTIQUE

Groupe BABCOCK FIVES

48, rue La Boétie, 75 - PARIS 8e
Tél. 256.68.00 Télex 29.027

étude fabrication entreprise



OR DUNKERQUE : SALLE DE CONTROLE DU HAUT FOURNEAU III

travaux industriels pour l'électricité

TRINDEL

INSTRUMENTATION
Instrumentation pneumatique et électrique
Traitement des informations par calculateur
Préréglage. Mise en service. Maintenance.

ÉQUIPEMENTS
Centrale thermique
Postes de Transformation électrique
Équipement électrique des unités et des off-sites
Postes de chargement
Chargement wagons-citernes - camions citernes

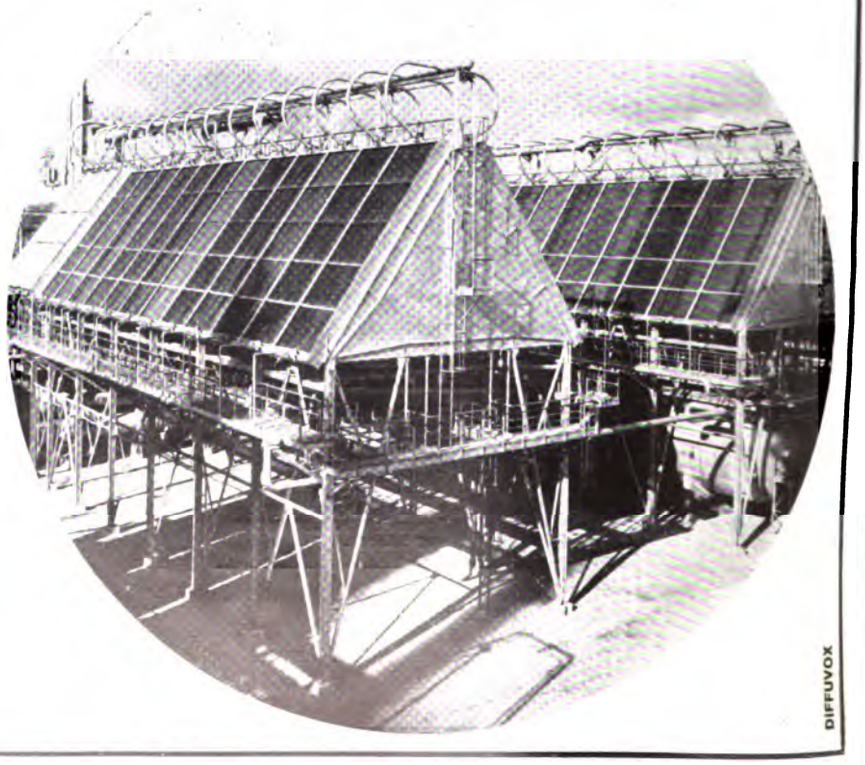
FABRICATIONS
Salles de contrôle
Tableaux et pupitres
Armoires d'automatismes

TRINDEL INFORMATIQUE
Software - Hardware

, PARIS VIIIe - TEL. 522.19.09

EDITION PUBLICITE E.L.

NE INSTALLATION COMPLETE DCONDENSATION DE VAPEUR CALCULEE, CONSTRUITE ET MONTEE PAR G.T.T. LUMMUS SES AUXILIAIRES SA REGULATION.



LUMMUS
TRANSFERT THERMIQUE LUMMUS
Tour Aurore - 92 - COURBEVOIE
8.33.81 - Télex : TECHLUM 61.675 F

DIFFUVOX

VEB Carl Zeiss JENA

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE ALLEMANDE

LA PLUS GRANDE ENTREPRISE MONDIALE POUR L'OPTIQUE, L'ÉLECTRONIQUE ET LA MESURE DE PRÉCISION

aus JENA

GRAND EPIMICROSCOPE INVERSE A CHAMBRE PHOTOGRAPHIQUE

NEOPHOT 2

Les matériaux nouveaux, les méthodes d'usinage nouvelles, posent des exigences de plus en plus grandes aux appareils de contrôle optique. Les riches expériences accumulées par nous dans le domaine de la métallographie ont trouvé leur aboutissement dans le :

NEOPHOT 2

Caractéristiques techniques :

- **Agrandissements de 10 X à 2000 X**
- **Trois dispositifs d'éclairage interchangeables :**
  - **illuminateur pour faibles grossissements**
  - **illuminateur avec dispositif d'éclairage de Köhler**
  - **illuminateur spécial pour la polarisation**
- **Dispositif de levée rapide pour le changement des objectifs**
- **Chambre photographique grand format 13 x 18 cm**
- **Chambre polaroïd adaptable**
- **Méthodes d'observation : fond clair, fond noir, contraste de phase, polarisation, mesure, interférence, essais de la microdureté, comparaisons de séries-types, projection.**

VEB Carl Zeiss JENA

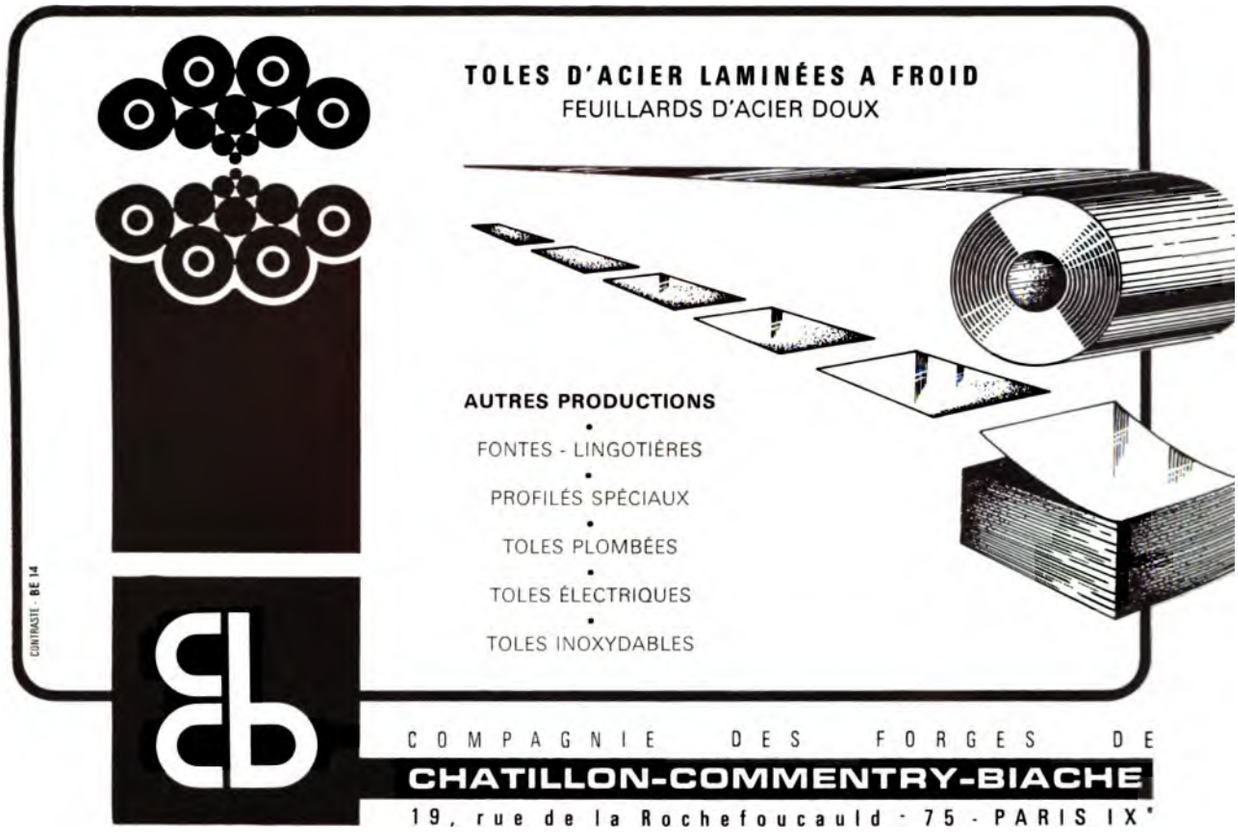
Agent Général :

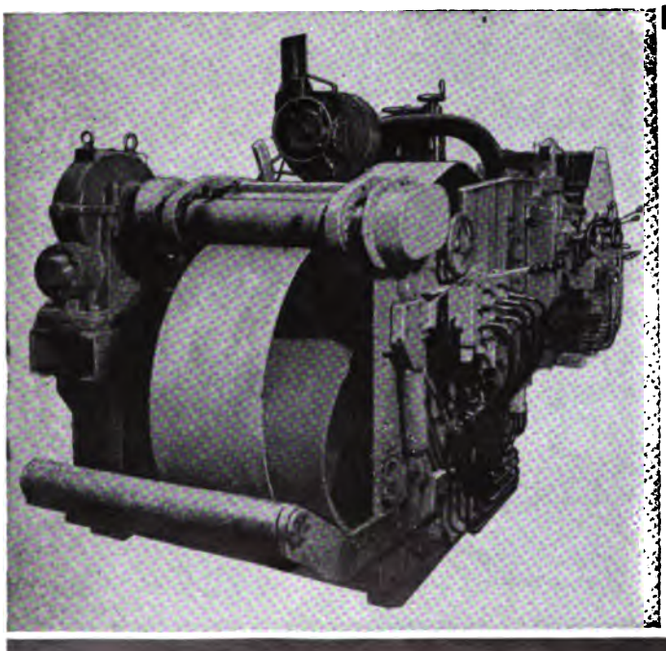
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE

48, boulevard de la Bastille
PARIS 12e
Tél. : 344.12.34

NEOPHOT 2 avec équipement pour contraste de phase

O.P.F. UNIVAS





matériels d'équipement pour la métallurgie

une ligne de soudage de bandes de laiton ←

BROCHOT

BUREAUX et USINES
42 à 56 Bd de la République
93-LIVRY-GARGAN
tél. : 927-29-94 et 95

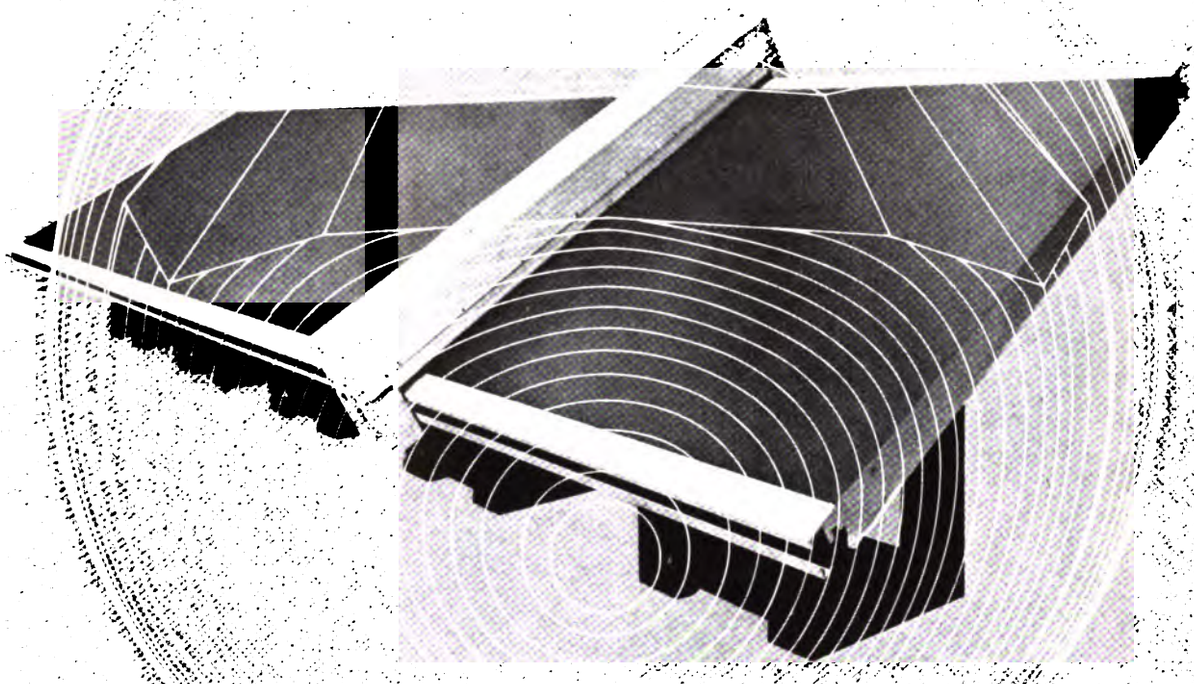
Embranchem particulier

Fiabilité - Service

COMMANDES NUMÉRIQUES

de contournage

par ordinateur ou câblées



KONGSBERG VÅPENFABRIKK

SUCCURSALE FRANÇAISE
16, bd de la Reine
78-VERSAILLES
Tél. 950 24-77
Telex 690 23 F

- **Dessin et traçage**
- **Machines-outils**
- **Oxycoupeuses**

Quelle que soit la complexité de vos problèmes de commandes numériques

NOUS SOMMES A VOTRE DISPOSITION A 950-24-77

POMPES A ENGRENAGE

ROPER

COMMERCE - U.S.A.

● Pour ligne de graissage
(laminoirs, machines à papier, etc.)

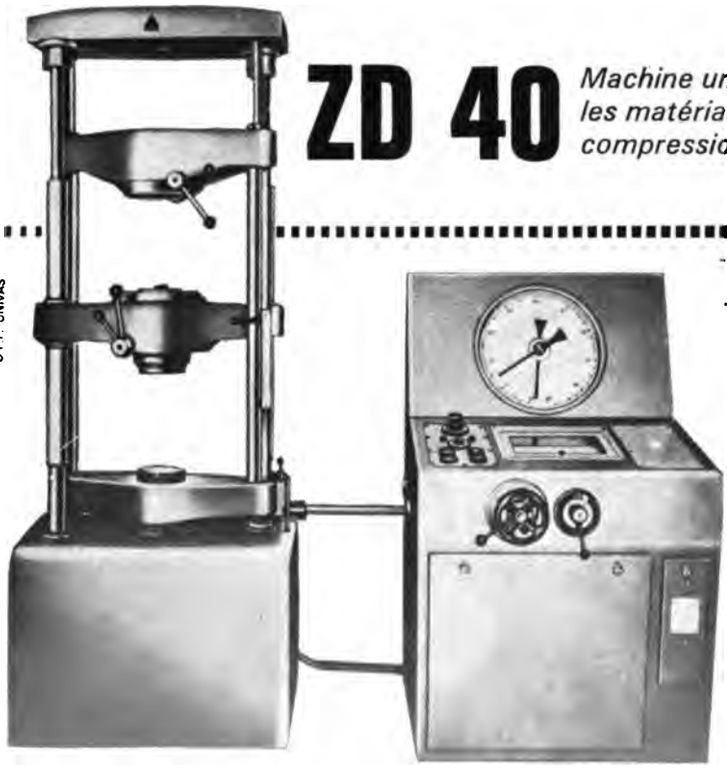
Sté DYNATEC

1 bis, rue Rouget-de-l'Isle - 92 - Courbevoie - Tél. 788.03.09

ZD 40

Machine universelle à essayer les matériaux à la traction, compression, flexion, etc...

WPM



- Mesure des forces par un dynamomètre à barre de torsion à très faible inertie
- 4 gammes de charge commutables par un simple levier
- Poutre de traction inférieure réglable en hauteur par l'intermédiaire de 2 colonnes filetées commandées par un moteur électrique
  - Hauteur disponible égale en traction et compression
  - Dispositif à maintenir la charge constante
  - Systèmes automatiques de régulation des charges croissantes et décroissantes à vitesse constante
  - Enregistreur force allongement sur large bande (250 mm)
  - Accessoires pour essais de flexion, cisaillement et billage 5 et 10 mm.

Equipements complémentaires :
- Extensomètre électronique MKeA ou mécanique MK 3
- Pulsateur Pu 80/HA pour essais dynamiques
- Four pour essais à chaud ou à froid
- Possibilité sur demande de machines rallongées.

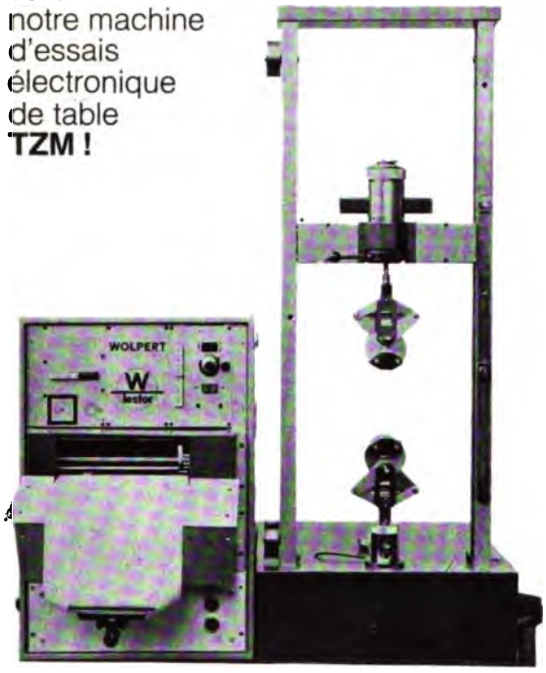
VEB Werkzeugmaschinenkombinat "Fritz Heckert" — Betrieb Werkstoffprüfmaschinen Leipzig
République Démocratique Allemande

Exportateur :
intermed-export-import
Volkseigener Aussenhandelsbetrieb der Deutschen Demokratischen Republik
102 Berlin - Schicklerstrasse 5-7 - R.D.A.

Représentation en France :
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE
48, Bd de la Bastille - PARIS 12e - Tél. : 341.12.30

une qualité ! un prix ! de multiples possibilités !

voilà
notre machine
d'essais
électronique
de table
TZM !



TZM pour essais de **TRACTION** et de **COMPRESSION**.
dans le même espace d'essai.

Petite par son encombrement,

mais grande par ses possibilités !

Nos ingénieurs sont à votre disposition pour vous renseigner et vous faire visiter nos salles d'exposition.

TESTWELL
36 bis, rue de la Tour d'Auvergne
Paris 9e - Tél. : 878.81.40 +

filtres & épurateurs
SOFRANCE

1 des 12 Duplex 3036 pour l'épuration de l'huile de graissage des laminoirs du complexe sidérurgique d'USINOR à Dunkerque. Ces appareils réellement automatiques ne demandent ni entretien ni pièce de rechange.

34, avenue du Général Leclerc - 87 LIMOG
tél 55/77.37.26 télex 58.(

firme correspondante en R
AUGUST G. KOCH - MASCHINENFAE
23 Kiel-Hassee, Allemagne - télex 0299

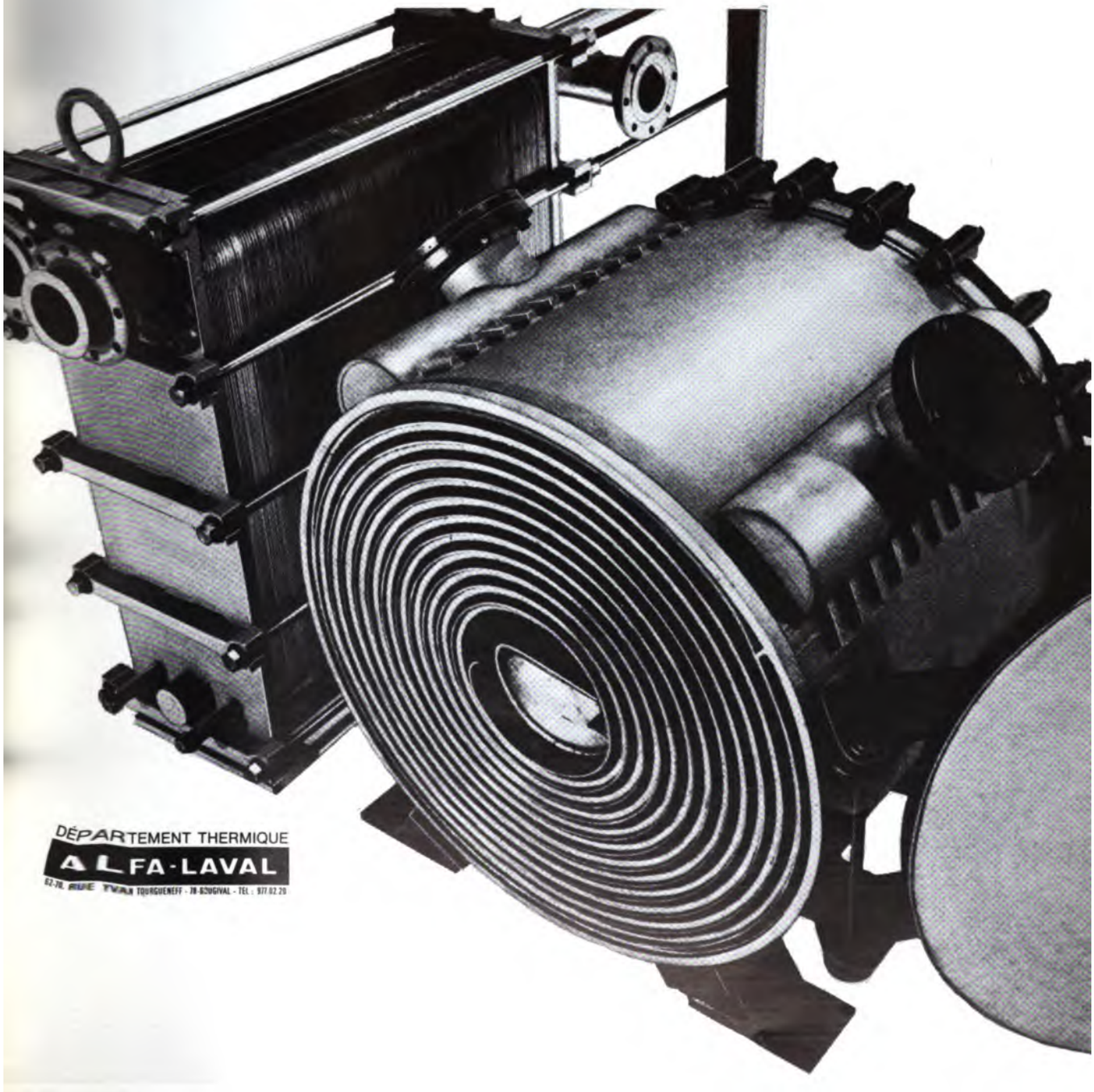
LABORATOIRE DE CONTROLE METALLURGI
G. CAFFIN
16, rue Barbette, PARIS (3e) — Tél. : ARC. 4

ANALYSES de tous métaux, minerais - eaux
USINAGES et ESSAIS MÉCANIQUES
pour contrôle de réceptions
ÉCHANTILLONNAGES — ARBITRAGES

arce que nous avon
échangeur spirales..

s pouvons compléter la gamme d'application, déjà étendue, de l'échangeur à plaques.
hangeur spirale est utilisé pour les transferts thermi-
s sur suspensions où son effet d'auto-débouchage
ervient.

C'est de plus un excellent condenseur moyenne et ba
pression (jusqu'à quelques torrs); mais on peut égalem
l'utiliser en rebouilleur ou en corps de réacteur chimiq



informations économiques

France

La demande d'acier devrait continuer à augmenter modérément en 1973 prévoit l'Institut International de l'acier (I.I.S.I.)

Lors de l'Assemblée générale annuelle qui s'est tenue à Londres le mois dernier, le Secrétaire général de l'IISI, M. Charles B. Baker a fait le point sur l'évolution du marché des produits sidérurgiques dans dans les pays membres de l'Institut.

Nous publions ci-dessous les principaux passages de son analyse.

En 1972, la production mondiale d'acier sera plus élevée que celle de l'année dernière. Jusqu'en août, la production d'acier brut des 24 pays communiquant des statistiques à l'IISI s'est élevée à 275 millions de tonnes métriques, soit une augmentation de 3,8 % par rapport aux huit premiers mois de 1971, mais un accroissement notable est escompté pour le reste de l'année. Il tient en partie à l'amélioration générale de l'activité économique et en partie aussi au fait qu'aux Etats-Unis, la production l'année dernière avait fortement baissé au cours du deuxième semestre pendant la période de déstockage ayant suivi l'annulation de l'ordre de grève fin juillet. Pour l'ensemble de l'année, on peut prévoir un chiffre de 628 millions de tonnes pour la production mondiale d'acier brut, soit 8,1 % de plus que l'année précédente. Bien que générale, cette augmentation a été plus marquée dans certains pays que dans d'autres. Par rapport à 1971 on peut prévoir une hausse d'environ 8 % dans la Communauté Européenne, de 10 % aux Etats-Unis, de 4 % dans le Royaume-Uni et de 8 % dans les autres pays représentés à l'IISI.

Malgré une évolution plus favorable de la demande dans la plupart des régions et une augmentation de la production, les résultats financiers annoncés jusqu'à présent sont assez décevants et même avec une amélioration des bénéfices escomptés au cours du second semestre, cette année ne pourra être considérée comme une année satisfaisante pour la sidérurgie dans son ensemble.

Par comparaison, 1973 apparaît sous un jour plus favorable. La demande devrait continuer à augmenter modérément sur l'ensemble de l'année et avec la perspective d'une amélioration de la production et des ventes, les bénéfices de la sidérurgie devraient progresser et, dans certains cas, d'une façon sensible.

Sur la base de l'enquête annuelle sur les perspectives de la demande à court terme parmi les pays représentés dans l'Institut, on peut prévoir une production d'acier mondiale de 660 à 670 millions de tonnes pour 1973. Ceci représenterait une augmentation de 6 % sur les estimations faites pour 1972 et nous remettrait presque sur la courbe de croissance annuelle à long terme. Le montant des investissements, dans les 22 pays participant à notre enquête, s'est élevé en 1972 à 9 275 millions de dollars. En 1973, d'après les estimations provisoires, le total sera légèrement inférieur à ce chiffre et se situera aux environs de 9 100 millions de dollars, en dépit d'une augmentation substantielle au Royaume-Uni, au Brésil et en Afrique du Sud. Dans les pays de la Communauté Européenne, les investissements n'atteindraient que 1 915 millions de dollars, soit près de 700 millions de moins qu'en 1972, ce qui reflète sans doute les difficultés de financement au cours de la période récente. Cependant, ces chiffres correspondent à la situation prévue au début de cette année et les dépenses d'investissements seront peut-être en réalité plus importantes.

Une étude portant sur les prévisions à long terme de la demande d'acier avait été faite en 1971 par un groupe de travail de la Commission des Etudes Economiques de l'IISI. Intitulée « Projection 85 », cette étude prévoit un léger ralentissement du taux de croissance de la consommation d'acier au cours des quinze prochaines années, mais celle-ci devrait atteindre cependant le niveau de 1 144 millions de tonnes en 1985, soit le double de celui de 1970.

LA PRODUCTION

Production sidérurgique française au mois d'octobre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Octobre 1972	10 mois 1972	Octobre 1971	10 mois 1971	Variation 10 mois 1972 / 10 mois 1971
Fonte brute	1 715	15 712	1 686	15 171	+ 3,6 %
Acier brut	2 214	19 916	2 108	18 852	+ 5,6 %

Production d'acier des pays membres de l'Institut International de l'Acier (I.I.S.I.).

(en 1 000 tonnes)

Pays	Septembre 1972	Septembre 1971
France	2 074	2 004
Belgique	1 201	1 123
Allemagne	3 719	3 337
Italie	1 740	1 502
Luxembourg	479	453
Pays-Bas	476	437
Total C.E.C.A.	9 689	8 856
Autriche	352	340
Danemark	44	41
Finlande	126	111
Norvège	63	76
Espagne	750	664
Suède	498	490
Grande-Bretagne	2 381	2 127
Canada	923	892
Etats-Unis	9 897	6 965
Argentine	188	161
Brésil	547	522
Chili	59	55
Mexique	376	288
Venezuela	97	80
Australie	606	577
Inde	570	429
Japon	8 049	7 576
Afrique du Sud	452	409
Total	35 665	30 658

LES APPROVISIONNEMENTS

Production de minerai de fer au mois de septembre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Septembre 1972	9 mois 1972	Septembre 1971	9 mois 1971	Variation 9 mois 1972 / 9 mois 1971
Minerai de fer marchand	4 810	40 152	5 015	41 272	— 2,8 %

LES TRANSPORTS

Trafic sur la Moselle canalisée au mois de septembre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Septembre 1972	9 mois 1972	Septembre 1971	9 mois 1971	Variation 9 mois 1972 / 9 mois 1971
Exportations de France	329	2 775	310	2 762	+ 0,4 %
Importations en France	300	2 752	338	3 456	— 20,3 %
Trafic total	629	5 527	648	6 218	— 11,1 %
Trafic effectué par la sidérurgie	73,7 %	78,4 %	83 %	84,5 %	— 17,5 %

LE MARCHE

La situation du marché de l'acier.

Les commandes totales prises par les entreprises de la Sidérurgie française au cours du mois d'octobre ont continué de se situer à un niveau élevé, dépassant sensiblement celui de la période correspondante de l'année dernière.

Les commandes prises sur le marché intérieur français ont continué de progresser ; à l'exception du rond à béton, elles sont bien orientées pour tous les produits.

A l'exportation, la tendance après les niveaux élevés atteints ces derniers mois est à la stabilisation, tant en ce qui concerne les marchés de la CECA que les marchés à la grande exportation.

Dans le domaine des prix, la dégradation très préoccupante de la situation sur le marché allemand paraît se terminer. D'ores et déjà, on a pu constater le raffermissement de certains prix ; cette amélioration devrait avoir des répercussions favorables sur la situation des prix dans les autres pays de la CECA.

Exportations sidérurgiques françaises au mois de septembre 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Septembre 1972	9 mois 1972	Septembre 1971	9 mois 1971	Variation 9 mois 1972 / 9 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	17	209	19	222	— 5,9 %
	Aciers courants	249	2 313	241	2 130	+ 8,6 %
	Aciers spéciaux	17	157	15	119	+ 31,9 %
	Total	283	2 679	275	2 471	+ 8,4 %
Zone Franc	Fontes	—	—	—	—	—
	Aciers courants	40	532	28	291	+ 21 %
	Aciers spéciaux	—	3	—	3	—
	Total	40	355	28	294	+ 20,7 %
Pays tiers	Fontes	12	88	2	63	+ 39,7 %
	Aciers courants	242	2 485	222	2 572	— 3,4 %
	Aciers spéciaux	9	85	13	77	+ 10,4 %
	Total	263	2 658	237	2 712	— 2 %
Tous pays	Fontes	29	297	26	285	+ 4,2 %
	Aciers courants	531	5 150	491	4 993	+ 3,1 %
	Aciers spéciaux	26	245	28	199	+ 23,1 %
	Total	586	5 692	545	5 477	+ 3,9 %

Importations sidérurgiques françaises au mois de septembre 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Septembre 1972	9 mois 1972	Septembre 1971	9 mois 1971	Variation 9 mois 1972 / 9 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	13	250	38	138	+ 81,2 %
	Aciers courants	581	4 611	487	3 887	+ 18,6 %
	Aciers spéciaux	30	235	21	200	+ 17,5 %
	Total	624	5 096	546	4 225	+ 20,6 %
Pays tiers	Fontes	4	27	3	23	+ 17,4 %
	Aciers courants	47	433	56	371	+ 16,7 %
	Aciers spéciaux	4	51	4	45	+ 13,3 %
	Total	55	511	63	439	+ 16,4 %
Tous pays	Fontes	17	287	41	161	+ 78,3 %
	Aciers courants	628	5 044	543	4 259	+ 18,4 %
	Aciers spéciaux	34	286	25	249	+ 14,9 %
	Total	679	5 617	609	4 669	+ 20,3 %

INFORMATIONS COMMERCIALES

Poursuite de la restructuration commerciale chez Usinor.

La société Cisatol (filiale à 96 % d'Usinor) va absorber les Etablissements Roubinet (autre filiale d'Usinor) et son capital va être porté en conséquence de 7,6 à 14,1 millions de francs.

Cette opération constitue une nouvelle phase dans la réorganisation commerciale de la société Usinor. Les deux sociétés concernées sont en effet spécialisées dans la vente de produits plats et leur parachèvement. Elles sont installées à Epinay-sur-Seine et Montataire pour la première et à Bobigny pour la seconde. En 1971, leur chiffre d'affaires cumulé a atteint 80 millions de francs environ.

LES STRUCTURES ET LES INVESTISSEMENTS

L'EVOLUTION DES STRUCTURES.

Wendel-Sidelor poursuit sa restructuration.

Au cours d'une réunion du Comité central d'entreprise, la direction du Groupe a indiqué que les usines de Wendel-Sidelor seront confiées en location-gérance aux filiales Sollac et Sacilor.

Wendel-Sidelor confiera à Sollac les sept hauts fourneaux et ateliers généraux de la vallée de la Fensch, ainsi que l'usine de fenderie-platinerie qui fermera ses portes en 1974 ; par ailleurs, seront confiées à Sacilor les usines de la vallée de l'Orne (Homécourt et Jœuf) ainsi que les laminoirs de Hayange et de Knutange.

TRAVAUX NEUFS ET MODERNISATION.

Société des Hauts Fourneaux de la Chiers.

La réalisation des programmes d'investissements engagés tant dans les divisions sidérurgiques que dans les usines de transformation se poursuit activement : du 1er janvier au 30 septembre 1972, le montant des dépenses afférentes à ces travaux atteignait 96 662 000 francs, chiffre déjà supérieur à celui de l'exercice précédent tout entier.

La construction de la nouvelle installation d'agglomération de l'usine de Longwy avance en respectant le planning établi ; l'achèvement de cet important ensemble est prévu pour le milieu de l'an prochain.

Dans cette même usine, un programme a été mis au point en vue de généraliser progressivement l'emploi du soufflage à l'oxygène pur à l'aciérie Thomas (procédé L.W.S.), ce qui doit à la fois améliorer la qualité de l'acier produit et permettre l'augmentation de la capacité des cornues existantes : un premier convertisseur a été équipé et est déjà en service ; un second le sera très prochainement.

Un programme d'extension en quantités et en qualités des capacités de production de tôles à froid de l'usine de Blagny a été engagé ; il concerne les installations de recuit en bobines expansées.

Carnaud-Basse-Indre.

La société Carnaud-Basse-Indre vient de mettre en service, dans l'usine de Basse-Indre, sur la Loire, en aval de Nantes, un nouveau laminoir, à froid, tandem, à cinq cages dont la capacité dépassera 500 000 tonnes, et destiné à remplacer deux laminoirs réversibles devenus insuffisants. Grâce à sa puissance et à sa souplesse d'emploi, cet engin offrira à la société un éventail élargi de possibilités dans le domaine des produits plats tout en lui permettant de réintégrer dans sa production des tonnages actuellement sous-traités et, par là, d'améliorer sensiblement sa rentabilité future. Le démarrage de la nouvelle installation s'effectue dans les meilleures conditions et sa marche industrielle est prévue pour la fin de l'année.

LES TECHNIQUES

INGENIERIE ET MATERIELS SIDERURGIQUES

Mise en service d'un nouveau type d'installation d'agglomération conçu par Creusot-Loire.

La Société Sidmar vient de mettre en service, dans son usine sidérurgique de Gand, en Belgique, une installation d'un type nouveau destinée à agglomérer les minerais de fer. L'innovation consiste à refroidir le gâteau d'agglomérés sur la chaine même qui a servi à le cuire, au lieu de le déverser encore chaud dans un refroidisseur séparé.

L'installation a été conçue et construite par Delattre-Levivier (Groupe Creusot-Loire). Les résultats obtenus avec un mélange de minerais du Brésil, de Mauritanie et d'Australie répondent aux espoirs des promoteurs, et corroborent l'opinion de l'IRSID et celle des Aciéries de Decazeville qui, depuis plusieurs années, exploitent le procédé avec succès, mais à échelle réduite. En comparaison des procédés traditionnels, la qualité du produit est meilleure et son prix de revient diminue ; en même temps, l'atelier gagne en propreté.

Cette installation représente un investissement de l'ordre de 100 millions de francs.

Le procédé LWS à l'aciérie de Longwy de la Société des Hauts Fourneaux de la Chiers.

Le dernier fond LWS de l'aciérie de la Société des Hauts Fourneaux de La Chiers, à Longwy, a atteint une durée de 640 charges et a été arrêté en fin de semaine pour respecter le planning hebdomadaire de l'aciérie.

D'une épaisseur de 750 mm à l'état neuf, de 175 mm lors de son arrêt, sa vitesse d'usure a été en moyenne de 0,9 mm par charge. Il était constitué du mélange de dolomie goudronnée usuel.

On escompte dépasser prochainement une durée de 700 charges.

Le garnissage, également en dolomie goudronnée usuelle, peut donc maintenant dépasser 640 charges (contre 350 environ au convertisseur Thomas).

LES UTILISATIONS DES PRODUITS SIDERURGIQUES

L'acier dans la construction.

— *L'immeuble du Ministère des Affaires Etrangères*, à Nantes, comporte un bâtiment de grande hauteur à 3 branches s'articulant sur un noyau central. L'ossature périphérique métallique représente un poids d'acier de 560 t.

— *Un ensemble administratif et technique* composé de 4 bâtiments-tours de 20 étages sur rez-de-chaussée est en cours de réalisation à Issy-les-Moulineaux. La construction comporte des noyaux de béton armé et ossature périphérique acier.

— *Le procédé CTICM, à ossature métallique en tubes carrés* a été retenu pour la construction d'un immeuble d'habitation de grand standing, comprenant 2 bâtiments de 5 niveaux, à Neuilly-sur-Seine.

— *1 500 t de charpente métallique* ont été utilisées pour la construction d'une nouvelle installation de la société Saint-Gobain. Cet atelier, équipé du procédé moderne « ligne float » de fabrication de la glace, remplacera à Chantereine l'ancienne installation.

— *La décoration du magasin de confection Bulle* des Champs-Elysées fait une part importante à l'acier inoxydable : 35 m² de panneaux d'acier inox poli miroir pour l'habillage de la marquise, revêtement en inox satiné des parois et piliers d'ascenseur ainsi que les limons d'escaliers, tube carré inox pour les supports des 16 projecteurs illuminant la marquise.

Pont en acier.

78 pieux PH métalliques ont été utilisés pour réaliser les fondations du nouveau pont de Saint-Cloud. C'est l'ouvrage le plus important pour lequel on fait appel à ce type de pieux. Les pieux de 40 m, constitués par deux tronçons de 20 m soudés sur place représentant un record européen au plan de la hauteur de mise en fiche.

L'acier dans la pétrochimie.

4 colonnes de traitement, destinées à une unité de styrène, dérivé aromatique du pétrole, intervenant dans la fabrication des matières plastiques, ont été fabriquées en France et expédiées en Turquie. Une cinquième, embarquée en 4 tronçons d'une longueur totale de 59 m, d'un poids de 149 t et d'un diamètre de 3,40 m, sera montée sur place.

Equipements métalliques pour centrales nucléaires.

Les centrales nucléaires de Fessenheim et du Bugey seront équipées de chaudières dont la construction est assurée par des sociétés françaises (Creusot-Loire, Framatome). Les cuves auront un diamètre de 4 m et les parois auront 20 cm d'épaisseur, pour un poids de 330 t. Les tuyauteries des pompes seront en acier inoxydable, elles auront un diamètre de 74 cm et une épaisseur de 67 mm.

INFORMATIONS DIVERSES

Ferembal prend le contrôle d'une société italienne.

Ferembal, filiale de Marine Firminy, et qui bénéficie de l'assistance technique de l'American Can Company (premier producteur mondial d'emballages métalliques), vient de prendre le contrôle d'une société italienne : la Ligure Emiliana S.p.A., dont le siège est à Gênes et l'usine à Parme.

La Ligure Emiliana fabrique des emballages en fer-blanc, principalement pour l'industrie et la conserve.

L'usine neuve, d'une superficie de 18 500 m² couverts, implantés sur un terrain de 102 000 m², emploie 160 personnes et transforme annuellement 7 000 tonnes de fer-blanc.

Il s'agit de la première implantation de Ferembal hors de France.

M. Henri Thiébaud, directeur général de Ferembal, a été désigné comme président de la Ligure Emiliana S.p.A.

Création définitive de la Sommeni.

Les groupes français Péchiney Ugine Kuhlmann (à raison de 38 %), canado-néerlandais Patino (42 %) et suédois Graenges (20 %) ont créé à Paris une filiale commune Sommeni, Société Minière et Métallurgique du Nickel Patino-Péchiney-Graenges S.A., au capital initial de 7,5 millions de FF. La nouvelle société procédera aux études relatives à la réalisation en Nouvelle-Calédonie d'un ensemble industriel pour la production de ferronickel à partir des gisements appartenant à Cofremmi, filiale française du groupe Patino.

Constitution d'une société française de combustibles nucléaires.

La C.E.A., en association avec trois entreprises françaises, le Nickel, Saint-Gobain-Pont-à-Mousson et ALSPI (Société Alsacienne de Participations Industrielles), vient de mettre en place une nouvelle société d'étude et de production de combustibles nucléaires.

Le capital de cette entreprise dénommée Sicrel (Société industrielle de combustibles de réacteurs électrogènes) est détenu à 34 % par le C.E.A. Saint-Gobain-Pont-à-Mousson, le Nickel et ALSPI disposent, de leur côté, sur une base paritaire, des 66 % restants.

Création d'un comité de liaison de l'industrie des tubes d'acier de la C.E.C.A.

Les fabricants de tubes d'acier des pays de la Communauté ont créé un Comité de liaison auquel adhèrent les associations professionnelles des fabricants de tubes d'acier les plus importants d'Allemagne, de Belgique, de France, d'Italie, du Luxembourg, des Pays-Bas (observateur) et du Royaume-Uni (observateur).

Ce Comité, dont la présidence sera tournante, est présidé actuellement par M. Thomas Liberati (Italie). Une délégation des présidents d'association des pays de la Communauté, avec à sa tête M. Liberati, a été reçue le 23 octobre au siège de la Commission par M. Altiero Spinelli, membre de la Commission, entouré de dirigeants et représentants des principales Directions générales intéressées. L'adresse du secrétariat permanent du Comité de liaison de l'industrie des tubes d'acier de la Communauté européenne est : 37, avenue George-V, Paris 8e.

Etranger

Création, à Zurich, d'une société pour le négoce de l'acier et de l'aluminium sur le marché européen

L'Amari Ltd (Londres) et la Koenig AG (Suisse) viennent de constituer, sur une base paritaire, la Polymetal AG, au capital de 1 million de francs suisses, dont le siège est à Zurich. La Polymetal doit regrouper les activités de négoce de l'Amari Wolff Steel Ltd, récemment constituée en Grande-Bretagne, les centres-services de la Koenig AG en Suisse (à Dietikon) et en Hollande (Koenig Metal Centre BV, Hooge Zwaluwe, entre Rotterdam et Anvers) et les dépôts d'acier et d'aluminium d'Aalco (filiale d'Amari) en Grande-Bretagne et en Allemagne. La Polymetal AG travaillera également en association avec une organisation du négoce en Espagne et se propose de créer des réseaux similaires de distribution dans d'autres pays d'Europe et d'Outre-Mer.

Au départ, la Polymetal dispose de 2 centres-services et de 21 dépôts. Les centres-services permettent de traiter des coils d'une largeur jusqu'à 1 500 mm, de 0,10 à 4 mm d'épaisseur et de 15 t maximum. Ils vendent des tôles minces laminées à froid, des tôles galvanisées, électro-zinguées, aluminisées, prépeintes ou plastifiées, du fer-blanc, des tôles d'acier inoxydable, des tôles magnétiques.

L'équipement de ces deux centres totalise 6 lignes de refendage, 5 lignes de cisaillage, 6 cisailles à guillotine, 2 cisailles circulaires, 1 scie à métaux légers, 3 fours de recuit et 2 lignes de revêtement protecteur. Leur capacité globale est de 100 000 t d'acier ordinaire, 10 000 t d'acier inoxydable et 5 000 t d'aluminium par an.

Amari Wolff Steel a conclu des accords en vue de représenter divers producteurs d'acier inoxydable ; elle assure ainsi :

— la représentation mondiale de Llodio (Espagne) ;

— la représentation en Europe de Roldan (Espagne) et de Comsteel (Australie) ;

— la représentation en Bulgarie, Roumanie et Hongrie de la Southern Cross (Union sud-africaine) et

— la représentation en Grande-Bretagne de Terninoss et de Cogne/Breda (Italie).

En créant la Polymetal AG, les deux sociétés fondatrices ont motivé comme suit leur décision : l'Europe doit être, à leur avis, considérée comme un marché unique et la position de distributeurs, autrefois indépendants, se trouvera singulièrement renforcée par le regroupement de leurs réseaux de distribution, de leurs dépôts, centres-services et ateliers de parachèvement.

La Polymetal AG espère avoir une rotation de ses stocks de plus de 300 000 t/an de tôles d'acier et d'aluminium dans un délai d'environ 5 ans.

(d'après *Le Metal Bulletin*).

L'activité des négociants stockistes allemands en 1971

Selon le rapport annuel de la Fédération allemande des négociants en acier (Bundesverband Deutscher Stahlhandel), les ventes des négociants stockistes de la RFA ont évolué comme suit :

Produits laminés finis.

Les ventes se sont légèrement accrues en 1971, sauf à l'exportation :

(en 1 000 t)

	1970	1971
Ventes aux industries de transformation	5 647	5 731
Ventes à d'autres négociants	2 055	2 143
Ventes à l'exportation	107	69
Total	7 809	7 943

Parmi les industries de la transformation, les principaux clients des négociants stockistes ont été :

(en 1 000 t)

	1970	1971
Industrie du bâtiment	1 709	1 772
Industrie des fabrications métalliques	916	907
Construction métallique	863	842
Construction mécanique	809	764
Industrie automobile	255	260

Les livraisons de laminés finis des négociants stockistes ont porté principalement sur des produits longs, les aciers à béton étant intervenus pour 24 % dans le total des ventes, les aciers marchands pour 20 % et les profilés lourds ou poutrelles à larges ailes pour 17 %.

Les stocks des négociants stockistes en produits laminés finis, qui atteignaient 2,4 millions de t en mai 1970, avaient été ramenés à 1,7 millions de t à la fin de 1971 pour s'élever à nouveau à 1,85 million de t à la fin mai 1972.

Tubes d'acier.

Les ventes des négociants stockistes ont marqué une certaine régression en 1971, surtout à destination des industries utilisatrices :

(en 1 000 t)

	1970	1971
Ventes aux industries utilisatrices	674	597
Ventes à d'autres négociants	519	511
Ventes à l'exportation	31	28
Total	1 224	1 136

Les stocks des négociants stockistes en tubes d'acier, qui s'élevaient à 238 000 t fin 1970, avaient été ramenés à 211 000 t fin 1971, pour s'élever à nouveau à 220 000 t fin mai 1972.

Le rapport de la Fédération signale que les résultats financiers ont été influencés négativement par la concurrence de plus en plus âpre et par l'augmentation continue des coûts.

L'approvisionnement de la sidérurgie belge en matières première en 1971

Selon le rapport annuel du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges, la sidérurgie belge — du fait de l'existence d'un certain nombre de contrats à terme — n'a guère bénéficié de la baisse des cotations et de la détente du marché. Au contraire, le gonflement des stocks de minerai de fer, provoqué par la réduction de la consommation, a entrainé des charges financières difficiles à supporter en période de récession.

Minerais de fer.

Les réceptions de minerais suédois sont restées au même niveau qu'en 1970, tandis qu'on enregistrait une diminution très sensible des fournitures d'autres provenances. Il faut noter que les grèves ayant paralysé l'activité des usines du bassin liégeois en fin d'année ont fortement perturbé le rythme des réceptions.

Réceptions de minerai de fer dans les usines belges

(en 1 000 t)

Provenance	Minerai brut		Fer contenu
	1970	1971	1971
France Est	5 288	4 863	1 449
France Ouest	238	79	34
Luxembourg et Belgique	144	64	23
Suède	7 344	7 363	4 433
Autres pays	6 335	5 572	3 347
Total	19 349	17 941	9 286

En ce qui concerne les minerais d'outre-mer, la réduction des arrivages a affecté d'une façon sensible les fournisseurs du Libéria, du Canada et du Venezuela, tandis que la part prise par les minerais australiens accusait une forte augmentation.

Ferraille.

La consommation de ferraille est restée, au total, du même ordre de grandeur qu'en 1970, accusant pourtant une diminution des enfournements dans les hauts fourneaux et une augmentation de la consommation dans les aciéries, celle-ci étant liée à l'accroissement de la part des procédés LD et OBM dans la production totale.

Consommation de ferraille dans la sidérurgie belge

(en 1 000 t)

	1970	1971
Hauts fourneaux	254	171
Aciéries	3 156	3 232
Total	3 410	3 393

La mise au mille dans les différents types d'appareils n'a guère subi de variation, sauf dans le cas des hauts fourneaux.

Mise au mille de ferraille (kg/t)

	1970	1971
Hauts fourneaux	23	16
Aciéries Thomas	131	137
Aciéries à l'oxygène	268	266
Aciéries Martin	972	979
Aciéries électriques	1 077	1 054

Charbon à coke.

La réduction des réceptions globales a porté, non sur les tonnages de charbon belge qui se trouvaient à un niveau plus normal après la diminution provoquée en 1970 par la grève de Campine, mais sur les réceptions de charbons étrangers et surtout sur les réceptions de charbons des pays tiers (pour lesquelles les chiffres de 1970 avaient été anormalement gonflés par des achats de compléments provoqués par la grève de Campine). Une réduction est intervenue également pour les charbons allemands.

Réceptions de charbon à coke des cokeries sidérurgiques en provenance des principaux pays fournisseurs

(en 1 000 t)

	1970	1971
Belgique	5 298	5 646
Allemagne	1 821	1 528
Pays tiers	1 959	970
Total	9 078	8 144

Coke.

Du fait du ralentissement de la production d'acier et de la réduction de la mise au mille, les besoins de coke des hauts fourneaux ont été sensiblement inférieurs à ceux de 1970, d'où une réduction des réceptions totales de coke d'environ 7 %. Le recul a porté surtout sur les fournitures de coke en provenance de l'étranger, tandis que les quantités livrées par les cokeries sidérurgiques ont bénéficié d'une plus grande stabilité.

Réceptions de coke des usines sidérurgiques

(en 1 000 t)

	1970	1971
Cokeries sidérurgiques propres	5 016	4 836
Autres cokeries sidérurgiques belges	357	435
Autres cokeries belges	32	11
Importations	1 134	820
Total	6 539	6 102

Au point de vue des prix, l'année 1971 a encore été marquée par un accroissement des prix du charbon belge, évoluant ainsi à contresens de la conjoncture sidérurgique générale. Deux hausses ont été pratiquées, l'une au 1er janvier 1971 portant le prix de base à la tonne (qualité Winterslag) de FB 910 à FB 1 035 et l'autre au 1er juin portant le prix à FB 1 145. En fait, ces deux mouvements doivent être considérés conjointement, le premier ayant un caractère provisoire et le second ayant pour objectif de fixer le prix moyen de l'année à FB 1 100 la tonne, compte tenu du prix pratiqué pendant les 5 premiers mois.

Les prix du charbon allemand ont également subi un relèvement substantiel (plus de 35 % par rapport à la situation de fin 1969). Ce relèvement résulte à la fois de diverses hausses du barème et d'une réévaluation du DM.

En définitive, seul le charbon des pays tiers, qui n'intervient que pour 12 % dans les réceptions des cokeries, a connu une baisse des prix au cours de l'année 1971. Ici, les modifications des parités monétaires se sont ajoutées à la détente normale du marché pour ramener les prix à un niveau voisin de celui de fin 1970.

Les transports en provenance ou à destination de la sidérurgie belge en 1971

Selon le rapport annuel du Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges, la réduction intervenue dans le trafic total intéressant la sidérurgie en 1971 (— 6 %) a été sensiblement plus importante que celle de la production d'acier brut (un peu plus de 1 % seulement). Cette divergence est due à divers éléments : recours aux matières premières en stock, utilisation de minerais plus riches, réduction de la mise au mille de coke, diminution des importations de demi-produits par suite du ralentissement de la conjoncture.

Le trafic par fer a accusé la plus forte diminution, ce qui s'explique principalement par la réduction des transports de minerais, de charbon et de coke qui sont en grande partie acheminés par fer. Les transports par eau et par route ont évolué de façon plus parallèle à l'activité générale des entreprises.

Evolution des transports en provenance ou à destination des usines sidérurgiques belges

(en 1 000 tonnes)

	1969	1970	1971	Variation 1971-1970 (%)
Fer	31 452	31 644	28 951	— 8,5
Eau	15 097	15 311	14 910	— 2,6
Route	7 274	7 228	7 011	— 3,0
Total	53 823	54 183	50 872	— 6,1

Malgré la diminution du trafic intervenue en 1971, la S.N.C.B. n'a pas négligé la modernisation de son parc de wagons. Une série de nouveaux wagons adaptés aux besoins de la sidérurgie ont été mis en circulation et de nouvelles commandes ont été passées en vue de pouvoir satisfaire pleinement la demande de la sidérurgie, même en période de haute conjoncture, tant en ce qui concerne le nombre de wagons que leurs caractéristiques.

En ce qui concerne les coûts de transport par eau, la hausse en 1971 a été d'environ 10 % pour les produits sidérurgiques et le charbon et 3 % pour le minerai.

Une hausse a été également appliquée pour les transports par fer. Si cette hausse a été moins sensible que pour les transports par eau, le Groupement des Hauts Fourneaux et Aciéries Belges estime qu'elle présente pourtant certains aspects particulièrement regrettables : « Elle confirme en effet une orientation marquée depuis un certain temps déjà et consistant à faire supporter par les produits pondéreux, qui assurent à la S.N.C.B. un trafic important et régulier, une part disproportionnée des frais d'exploitation des chemins de fer. »

Le développement de la sidérurgie turque

Au cours d'un voyage aux Etats Unis, M. Turgut Guray, directeur de la division « Projets et Engineering » à l'usine d'Eregli, a déclaré que la Turquie souhaitait se rendre indépendante des importations d'acier à partir de 1975. Cependant, compte tenu de l'augmentation progressive de la demande, une nouvelle étape d'expansion sera alors nécessaire en vue de porter la capacité turque à plus de 4 millions de tonnes d'acier brut en 1980. M. Turgut Guray a affirmé que cette augmentation de capacité serait destinée exclusivement à couvrir les besoins du marché intérieur et que la Turquie n'avait pas d'ambition à l'exportation.

Consommation apparente d'acier.

Selon l'Office de Statistiques de la RFA, la consommation apparente d'acier en Turquie (y compris les tubes et tréfilés) a atteint un niveau record de 1 024 000 t/lingots en 1966, mais elle n'aurait plus été que de 916 000 t/lingots en 1969, soit 27 kg par habitant.

Selon M. Turgut Guray toutefois, la consommation turque atteint 2,2 millions de tonnes en 1971. Les Turcs envisageraient même une consommation de 2,5 millions de tonnes en 1972. Il faut noter que le taux d'accroissement de la population turque est élevé (36,16 millions d'habitants à la mi-1971 contre 32 millions à la mi-1965 et 27,83 millions à la mi-1960).

Production.

L'Office de Statistiques de la RFA donne les chiffres suivants, concernant l'évolution de la production sidérurgique turque (*) :

(en 1 000 tonnes)

	1967	1968	1969	1970
Fonte	*908*	*1 008*	*1 046*	*1 156*
Acier brut	*997*	*1 112*	*1 221*	*1 520*
A l'oxygène	446	546	569	703
Martin	550	563	632	609
Electrique	1	3	20	208
Produits laminés finis	*642*	*817*	*643*	*680*
Matériel de voie	2	11	5	13
Profilés et poutrelles	57	93	64	69
Laminés marchands	244	230	300	354
Fil machine	—	—	40	34
Feuillards	289	409	83	—
Tôles fortes et moyennes	50	58	90	118
Tôles minces		16	61	92
Autres produits	22	2	3	64
Demi-produits pour vente	*150*	*145*	*127*	*137*
Fer-blanc	45	48	47	56

On remarque que la production d'acier à l'oxygène aurait donc dépassé la production d'acier Martin en 1970, année au cours de laquelle la production d'acier électrique aurait également considérablement augmenté.

(*) Le Bulletin Trimestriel de Statistiques des Nations Unies donne des chiffres de production beaucoup plus faibles (577 000 t de fonte et 618 000 t d'acier brut en 1969), mais précise qu'il s'agit seulement de la production des entreprises appartenant à l'Etat.

Principaux producteurs.

La sidérurgie turque se compose essentiellement, pour l'instant, de :

— 2 usines intégrées (Karabük et Eregli) ;

— 1 usine semi-intégrée produisant des aciers spéciaux (Kirikkale) ;

— 1 usine à tubes, filiale de Mannesmann (Izmit) ;

— 1 « mini-usine » productrice d'aciers spéciaux (Izmir).

Il existe également quelques petites usines de relaminage ou productrices de tubes ou encore disposant d'une petite aciérie et d'une fonderie.

Eregli.

L'usine intégrée d'Eregli, dont la production a démarré en 1965, est exploitée par la société Eregli Iron and Steel Works dont le capital se répartit comme suit :

Etat turc	56 %
Consortium américain (Koppers Co, Blaw Knox et Westinghouse Electric)	18 %
Autres actionnaires privés	26 %

En dépit de la participation majoritaire de l'état turc, l'usine d'Eregli est considérée comme relevant du secteur privé.

Selon les déclarations de M. Turgut Guray, la capacité de l'usine d'Eregli est actuellement de l'ordre de 700 000 t/an d'acier brut avec 1 haut fourneau (pouvant produire 1 600 t de fonte par jour) et 2 creusets à l'oxygène pur de 95 t. La production du haut fourneau devrait toutefois atteindre prochainement 2 200 t par jour, après la mise en service d'une installation d'agglomération fournie par la Dravo Corp. et d'une capacité de 1,25 million de tonnes d'agglomérés par an.

En ce qui concerne les produits laminés, l'usine est spécialisée dans la production des produites plats et elle dispose d'un blooming-slabbing, d'une cage quarto à tôles fortes, d'un train Steckel à chaud de 66", d'un train tandem à froid à 4 cages de 66" et d'une ligne d'étamage électrolytique de 38".

L'usine d'Eregli se propose de porter progressivement sa capacité à 1,8 million de tonnes par an. A cet effet, elle a obtenu un prêt de $ 76 millions de la BIRD, un prêt de $ 70 millions de l'Export-Import Bank et un prêt de $ 40 millions de l'Agency for International Development. Les équipements financés par les prêts de la BIRD et de l'AID pourront être acquis dans le cadre d'adjudications internationales et des appels d'offres doivent être lancés, pour diverses installations nouvelles, notamment :

— 1 haut fourneau, d'un diamètre de creuset de 9 m et d'une capacité de 2 800 t/j ;

— 1 troisième creuset à l'oxygène pur de 95 t ;

— 1 installation de coulée continue pour billettes d'une capacité de 300 000 t/an.

Par contre, le prêt de l'Export-Import Bank pourra être utilisé seulement pour des achats aux Etats-Unis ; il s'agirait notamment de :

— 1 train à chaud à larges bandes ;

— une cinquième cage au train à froid.

Karabük.

L'usine intégrée de Karabük, appartenant à l'Etat, est la plus ancienne usine sidérurgique de Turquie, sa construction ayant commencé en 1937. Alors que l'usine d'Eregli est une usine côtière, implantée sur les bords de la Mer Noire, l'usine de Karabük est située à 60 km environ à l'intérieur des terres, à plus de 100 km au nord d'Ankara.

On ne possède pas de renseignements récents sur les installations de cette usine. Selon l'Annuaire Iron and Steel Works of the World, l'usine devait disposer, vers 1967-1968, de 3 hauts fourneaux (d'une capacité globale de 600 000 t de fonte), 6 fours Martin de 150 t d'une capacité globale de 600 000 t/an), de petits fours électriques, de trains à produits

longs et d'un petit train à tôles (20 000 t/an environ). L'usine produisait également des tuyaux de fonte.

Selon les déclarations de M. Turgut Guray, l'usine de Karabük aurait maintenant une capacité d'environ 900 000 t d'acier brut par an.

Kirikkale (aciers spéciaux). L'usine de Kirikkale, appartenant à l'Etat, disposait en 1967-1968 d'une capacité de 60 000 t/an d'acier brut (avec 1 four électrique à arc de 30 t et 2 fours Martin de 15 t) ; elle produisait des aciers fins au carbone, des aciers alliés et des aciers inoxydables, principalement sous forme de barres et de fil machine. L'usine est située à 80 km environ à l'est d'Ankara.

Izmir (aciers spéciaux). La « mini-usine » d'Izmir, sur les bords de la mer Egée, appartient au secteur privé et dispose de fours électriques suivis d'une coulée continue et d'un train à fil et petits fers ; sa production porte notamment sur les ronds à haute limite élastique et le fil destiné à la fabrication de ressorts.

Izmit (tubes). Cette usine, dans laquelle le groupe allemand Mannesmann détient une participation de 57,14 %, produit environ 55 000 t de tubes soudés par an (y compris des tubes à soudure hélicoïdale d'un diamètre de 8 à 40"). Elle est implantée sur la mer de Marmara, à une centaine de kilomètres d'Istamboul.

Projets d'usines nouvelles.

Le principal projet est celui d'Iskenderun, sur la Méditerranée Orientale à proximité de la frontière syrienne. D'importants gisements de minerai de fer auraient été découverts à proximité et le charbon pourra être acheminé par mer à partir de Zonguldak (*). En outre, un oléoduc traversant l'Asie Mineure à partir de l'Iran ainsi qu'un gazoduc en provenance de l'Irak doivent tous deux aboutir dans la région d'Iskenderun.

L'usine est construite avec l'assistance de l'U.R.S.S., un accord à cet effet ayant été conclu en octobre 1969. L'usine devrait être mise en service à la fin de 1974 avec une capacité de l'ordre de 1 à 1,2 million de t/an, pouvant être doublée par la suite. Il serait prévu une agglomération, 2 hauts fourneaux de 1 386 m^3, une aciérie LD, une coulée continue, des trains à billettes, poutrelles et fil machine et peut-être aussi à produits plats.

Selon des informations datant de fin 1971, les travaux de construction de l'usine d'Iskenderun étaient encore assez peu avancés : les commandes pour la construction de la cokerie et de la centrale électrique étaient passées mais on en était seulement au stade final des études relatives à la construction du premier haut fourneau et des autres installations.

Dans le courant de 1970 et 1971, certaines informations ont fait état d'un projet relatif à la construction d'une 4e usine intégrée, usine pour laquelle on envisageait une capacité pouvant atteindre jusqu'à 5 millions de tonnes et pour laquelle les Turcs auraient souhaité l'aide des Japonais. Ce projet semble être pour l'instant en veilleuse.

Par contre, des informations du début de 1972 font état d'un projet d'usine d'aciers spéciaux, d'une capacité de départ de 100 000 t/an, projet auquel s'intéresseraient les sociétés japonaises Daido Steel et Marubeni Iida. Là encore, il ne s'agit que d'études préliminaires et divers problèmes restent encore à régler.

(*) Les mines de Zonguldak sont sur les bords de la Mer Noire, non loin d'Eregli.

Développement de la sidérurgie iranienne

La demande d'acier en Iran a augmenté sensiblement au cours des dernières années, par suite du développement industriel croissant, et la consommation d'acier par habitant s'est établie en 1968 et 1969 aux environs de 60 kg par an (63 kg en 1968, 58 kg en 1969). Cette demande est couverte en majeure partie par les importations (les principaux fournisseurs ayant été en 1971 le Japon, les pays de la CECA, l'U.R.S.S., la Grande-Bretagne et les Etats-Unis), mais l'Iran a entamé un programme de développement de la sidérurgie qui lui permettra de compter d'ici peu 1 producteur intégré, 1 producteur semi-intégré produisant des profilés légers et du fil et des producteurs de tubes.

Pour l'instant, le principal producteur est l'Iranian Rolling Mills, société constituée en 1964 par le groupe Rezaie et la Banque de Développement Industriel et Minier. L'Iranian Rolling Mills exploite à 9 km d'Ahwaz une usine pour la production de barres, cornières, poutrelles et fil machine à partir de demi-produits importés. Au cours de l'exercice 1970-1971, sa production s'est élevée à 120 000 tonnes.

Sa consistance est actuellement la suivante :

— 1 train à petits fers (65 000 t/an) mis en service en 1967 ;

— 1 train à barres et ronds à béton (85 000 t/an) mis en service en août 1968 ;

— 1 train à fil, inauguré en décembre 1971, qui doit être doté d'un dégrossisseur (sa capacité sera alors de 100 000 t/an) ;

— 2 fours électriques de 50-60 t ont été commandés en 1970 à la Krupp Industrie und Stahlbau et Brown, Boverie et Cie, par l'intermédiaire de la Thyssen-Stahlunion-Export ;

— 2 autres fours d'égale capacité auraient été commandés en 1971. La mise en service de l'aciérie électrique devait avoir lieu dans le courant de 1972 ;

— 1 coulée continue Concast à 4 lignes pour brames de 90 × 90 et 130 × 130 mm² a été commandée.

L'Iranian Rolling Mills a mis récemment en service un second four de réchauffage de 110 000 t/an et espère ainsi porter sa production à 370 000 t/an de produits laminés. Par la suite, elle compte porter sa capacité de production successivement à 500 000 t/an puis 1 million de tonnes et éventuellement plus.

La National Iranian Steel Corp. construit actuellement une usine intégrée à Ispahan (usine d'Aryamehr) avec l'aide soviétique. La capacité initiale de l'usine est fixée à 750 000 t/an d'acier brut et 500 000 t/an de produits finis. Par la suite, il est prévu de porter la capacité de production d'acier brut à 1,9 million de tonnes, puis 4 millions de tonnes.

La consistance de l'usine doit être la suivante :

— 1 haut fourneau, mis à feu à la fin de 1971, et dont la production est stockée en attendant la mise en service de l'aciérie ;

— 1 aciérie LD (2 creusets de 80 t) qui devrait être mise en service prochainement) ;

— 3 installations de coulée continue (550 000 t/an) ;

— 2 installations de laminage (1 train de 150 mm et 1 train de 250-350 mm).

Son programme initial de production portera sur :

— Billettes	70 000 t par an
— Barres 10 — 150 mm ∅	70 000 t par an
— Cornières	35 000 t par an
— Poutrelles	230 000 t par an
— Fers U	11 000 t par an
— Rails	5 000 t par an
— Tôles fortes et moyennes 20-50 mm de largeur et 2-3,5 mm d'épaisseur	5 000 t par an
— Tôles fortes et moyennes 20 50 mm de largeur et 4-20 mm d'épaisseur	20 000 t par an
— Fil 5,5-10 mm ∅	5 000 t par an

L'Ahwaz Rolling and Pipe Mills Co a été constituée au début de 1969 avec la participation de l'International Finance Corporation pour la construction d'une usine à tubes à Ahwaz.

Sa capacité actuelle serait de 360 000 t/an de tubes soudés de 6 à 48", bien que sa production n'ait été que de 81 500 t en 1971. L'objectif de production pour 1972 est fixé à 150 000 tonnes.

L'Ahwaz Rolling and Pipe Mills Co dispose notamment d'un train à feuillards (140 000 t/an) et de trains à tubes soudés (2 d'entre eux, d'une capacité respective de 40 000 t/an et 13 000 t/an, ont été inaugurés en décembre 1971).

La White Iron Industrial and Mfg. Co dispose d'une capacité de 25 000 t/an de tôles galvanisées à chaud.

La Sepanta Industrial and Commercial Co dispose d'une capacité de 25 000 t/an de tubes de 1/2 à 4" de diamètre et de 35 000 t/an de profilés.

La Donaye Felez Co dispose d'une capacité de 20 000 t/an de tubes de 1/2 à 4" de diamètre et de 30 000 t de profilés.

La construction d'une usine sidérurgique entièrement nouvelle a été également envisagée. Une société américaine aurait été pressentie pour participer à la construction de cette usine qui pourrait être implantée près de Bandar Abbas, dans la région du Golfe Persique. Cette usine utiliserait le minerai de fer de Guélé Gohar, dont les réserves sont estimées à plus de 200 millions de tonnes, et du gaz naturel venant de l'île proche de Ghechm. La production de la nouvelle usine serait destinée à l'exportation vers les émirats du Golfe Persique.

Importations.

Selon les statistiques de l'I.I.S.I., les livraisons de produits laminés des principaux pays membres de l'I.I.S.I. à l'Iran ont évolué comme suit au cours des trois dernières années :

Exportations d'acier des principaux membres de l'I.I.S.I. à destination de l'Iran

(en 1 000 tonnes)

	1969		1970		1971	
	Produits laminés à chaud	Tous produits	Produits laminés à chaud	Tous produits	Produits laminés à chaud	Tous produits
U.E.B.L.	98,5	102,6	82,1	85,1	27,1	29,2
France	50,3	74,9	44,5	51,7	56,2	65,8
République Fédérale	95,3	120,3	57,0	73,4	141,9	155,9
Italie	7,7	24,5	15,7	24,1	45,8	62,3
Pays-Bas	3,3	4,3	9,6	10,9	2,4	3,1
Total CECA	255,1	326,7	209,0	245,2	273,5	316,3
Japon	262,0	490,1	325,4	363,2	581,1	651,4
Grande-Bretagne	100,6	127,1	37,3	43,7	38,1	44,8
Etats-Unis	6,0	11,4	14,8	19,0	27,3	32,0
Total pays de l'IISI (*)	637,5	970,5	600,4	686,8	943,1	1 069,7

(*) Y compris de faibles tonnages livrés par d'autres pays comme l'Australie, l'Autriche, le Canada, la Suède.

Tous produits : y compris les tubes, tréfilés, moulages, pièces de forge.

Selon les statistiques soviétiques du Commerce Extérieur, l'U.R.S.S. a exporté à l'Iran 40 500 t de produits sidérurgiques en 1969 et 50 200 t en 1970.

Décomposition des livraisons de produits laminés à chaud par les principaux pays membres de l'I.I.S.I. en 1971

(en 1 000 tonnes)

Lingots, blooms, billettes, brames, etc.	241,9
Fil machine	16,7
Barres à chaud	49,7
Cornières, profilés	73,7
Feuillards à chaud	5,6
Coils à chaud (+ de 500 mm de large)	55,0
Tôles fortes et moyennes (3 mm et +) non revêtues	156,3
Tôles minces à chaud, non revêtues	145,7
Tôles minces à froid, non revêtues	125,7
Tôles galvanisées	28,3
Fer-blanc, tôles étamées	39,8
Autres tôles revêtues	3,5
Rails et accessoires	1,3

Nouvelles brèves

Important contrat confié à Sofresid.

La Banque Mondiale (BIRD) et la Banque Inter-Américaine de Développement (BID) viennent de confier à Sofresid un important contrat.

Les deux banques ont consenti aux trois plus importantes sociétés sidérurgiques brésiliennes :

— la Companhia Siderurgica Nacional (CSN),

— la Companhia Siderurgica Paulista (COSIPA),

— et Usinas Siderurgicas de Minas Gerais (USIMINAS)

des prêts totalisant 330 millions de dollars (1,6 milliard de F) pour les extensions de leurs usines, dans le cadre de leurs plans de développement qui, pour les quatre années à venir, représentent globalement 5 milliards de francs.

La BIRD et la BID ont fait appel à Sofresid pour contrôler, pour leur compte, les travaux d'extension de ces usines dans le cadre du prêt de 330 millions de dollars. Un groupe d'ingénieurs de Sofresid, délégué pour quatre ans au Brésil, représente les deux banques auprès des sociétés sidérurgiques.

C'est dans ce domaine, le contrat le plus important qui ait été confié par les deux organismes à une société d'engineering.

Prêt international au Zaïre pour la réalisation d'une usine sidérurgique.

La République du Zaïre (ex Congo Belge) vient d'obtenir un prêt de 50 millions de dollars auprès d'un consortium de banques américaines, canadiennes et japonaises dirigé par la First National City Bank.

Le prêt, remboursable en six ans, sera utilisé par le Gouvernement du Zaïre pour financer la réalisation du projet hydro-électrique d'Inga, dont la première phase doit être achevée cette année, et celle de l'usine sidérurgique de Maluku, qui utilisera l'électricité produite à Inga après l'achèvement de la deuxième phase.

12e Congrès latino-américain de la sidérurgie.

Le 12e congrès latino-américain de la sidérurgie qui s'est récemment déroulé à Rio de Janeiro (Brésil) a adopté un certain nombre de recommandations. L'une d'entre elles demande que le développement de la sidérurgie latino-américaine pour l'exportation soit conçu pour que celle-ci se fasse à destination des autres pays de la région.

Selon les statistiques produites par l'Institut latino-américain du fer et de l'acier, la production d'acier brut s'est répartie comme suit en 1971, en Amérique latine :

Argentine	1 914 787 t
Brésil	5 995 711 t
Amérique centrale (Costa-Rica, Panama, Nicaragua, El Salvador, Guatemala, Honduras)	9 220 t
Colombie	324 899 t
Chili	653 541 t
Mexique	3 820 818 t
Pérou	179 392 t
Uruguay	14 694 t
Venezuela	923 960 t

élaboration des aciers inoxydables par affinage sous vide

L. Antoine, M. Cadart, J. Caillard, M. Debras, J.Y. Maléfant
Ingénieurs à l'usine de l'Ondaine de Creusot-Loire

Communication présentée aux 11èmes Journées des Aciers Spéciaux, à Saint-Etienne, 4-5 mai 1972.

Le traitement des aciers sous vide fait appel à des techniques demandant des capacités d'aspiration toujours plus élevées et des réfractaires plus nobles.

La première application du traitement sous vide a été la déshydrogénation. La quantité de gaz à extraire est de l'ordre de quelques ppm. Des pompes mécaniques étaient suffisantes pour cela.

La deuxième étape fut la désoxydation par le carbone. La quantité de gaz à extraire est de quelques dizaines de ppm. Si on veut que la réaction soit rapide, il faut que la puissance d'aspiration soit importante et les éjecteurs à vapeur sont nécessaires.

A l'usine de Firminy de Creusot-Loire, la désoxydation a pris le pas sur la déshydrogénation. Les nuances traitées sous vide pour améliorer leur propreté sont plus nombreuses que celles passées sous vide pour éviter les flocons.

La troisième phase du développement des traitements sous vide est la décarburation, notamment la décarburation des aciers inoxydables. La quantité de gaz à extraire est de plusieurs milliers de ppm, soit cent fois plus que pour la désoxydation et mille fois plus que pour la déshydrogénation. Il s'agit donc là d'un domaine entièrement nouveau nécessitant une technologie tout à fait particulière.

Avant de décrire cette technique et les résultats qu'elle permet d'obtenir, rappelons les principes théoriques sur lesquels elle repose.

Dans un fer pur, on a à l'équilibre :

$$\underline{C} \times \underline{O} = 25 \,.\, 10^{-4}\ p_{CO}.$$

Dans un acier 18-8, l'activité de l'oxygène est divisée par cinq et celle du carbone divisée par deux. On a donc :

$$\underline{C} \times \underline{O} = 25 \,.\, 10^{-3}\ p_{CO}.$$

Si l'on veut que $\underline{C} = 25 \,.\, 10^{-3}$ et $O = 10 \,.\, 10^{-3}$, on obtient :

$$p_{CO} = \frac{25 \,.\, 10^{-3} \times 10 \,.\, 10^{-3}}{25 \,.\, 10^{-3}} = 10^{-2}, \text{ soit 8 torr.}$$

Cette pression correspond à une hauteur d'acier de 15 mm.

Il faut donc mettre en œuvre une technique permettant d'exposer au vide l'acier par couches successives dont l'épaisseur soit inférieure à 15 mm. D'autre part, la puissance d'aspiration doit être suffisante pour que la pression reste très basse pendant le traitement, puisque toute augmentation de pression

TABLEAU I : Comparaison des élaborations classiques et A.S.V.

Elaboration classique		Elaboration ASV	
Matériel utilisé	Opérations	Matériel utilisé	Opérations
Four à arc	— Fusion d'une charge à teneur en chrome limitée 10 à 16 %). — Analyse. — Soufflage à l'oxygène pour obtenir le carbone final. — Additions refroidissantes. — Addition de FeCr sans carbone. — Réduction du laitier riche en chrome. — Coulée en poche.	Four à arc Dégazage sous vide	— Fusion d'une charge contenant tout le chrome. — Analyse. — Soufflage à l'oxygène pour obtenir C < 0,5 %. — Coulée en poche. — Décarburation sous vide. — Réglage final de l'analyse en poche.

entraîne une diminution relativement très importante de l'épaisseur de la couche décarburée.

Pour pouvoir faire des comparaisons, examinons le schéma de l'élaboration traditionnelle des aciers inoxydables (tabl. I).

On fond une charge qui contient de 10 à 16 % de Cr suivant le niveau de carbone à obtenir.

En fin de fusion, on soufle de l'oxygène pur, qui entraîne une augmentation rapide de la température. Cette augmentation de température accroît l'affinité du carbone pour l'oxygène et permet la décarburation. A 2 000°C le rapport Cr/C est égal à 300 ; donc, pour 0,02 % de C, on doit avoir 6 % de Cr. (C'est pour cette raison qu'on ne peut pas mettre tout le chrome dans la charge, car il serait nécessaire de le scorifier pour pouvoir abaisser le carbone). La quantité de chrome scorifié pendant le souflage à l'oxygène est fonction du carbone à obtenir. Il est compris entre 3 % et 6 %.

On procède ensuite à la réduction du chrome oxydé par du SiCr, puis à l'addition du chrome complémentaire sous forme de FeCr à très bas carbone.

Les inconvénients de cette méthode traditionnelle sont les suivants :

— nécessité d'atteindre des températures très élevées au four, d'où consommation importante de réfractaires coûteux ;

— nécessité de limiter la quantité de chrome dans la charge, d'où addition importante de FeCr à bas carbone très coûteux ;

— scorification importante du Cr qu'il est nécessaire de récupérer avec des réducteurs coûteux.

Nous allons décrire maintenant le procédé A.S.V. (tabl. I).

Une charge de 35 t est fondue dans un four à arc. Cette charge contient tout le chrome nécessaire à l'analyse finale. En fin de fusion, on procède au four à un soufflage préalable d'oxygène pour obtenir une teneur en carbone < 0,5 %. Ce soufflage est de faible importance et n'entraîne pas de scorification du chrome. L'acier est ensuite coulé en poche à une température comprise entre 1 520 et 1 620°C. La poche est placée dans une enceinte de traitement sous vide du type Bochumer Verein.

A ce stade, il faut faire trois remarques importantes :

— les réfractaires de la poche sont en magnésie-chrome pour supporter le traitement long et violent sous vide ;

— la poche est équipée d'une busette à tiroir, car la quenouille serait coupée sous vide ;

— la poche est munie au fond, d'une brique poreuse reliée à une source d'argon.

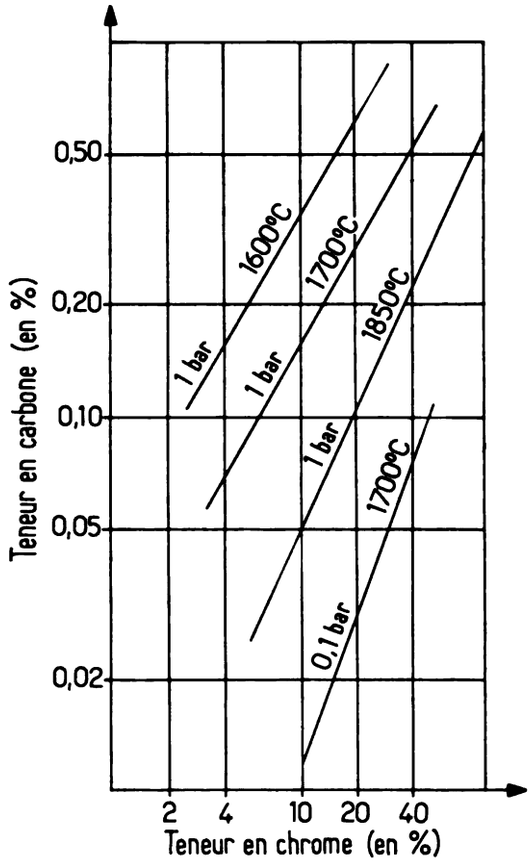


Figure 1. — Relation chrome-carbone en fonction de la pression et de la température.

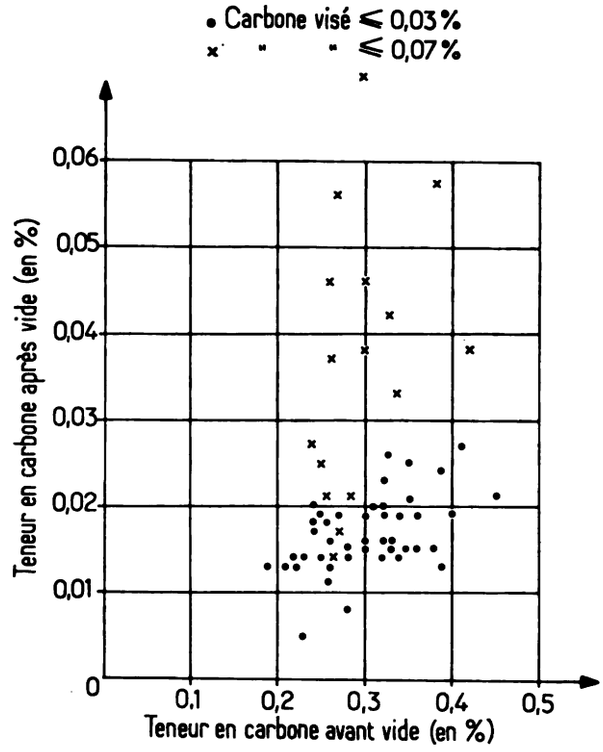


Figure 2. — Relation carbone avant et après vide.

Puis on met en place le couvercle de l'enceinte de traitement. Sur ce couvercle se trouve une lance à oxygène coulissant à travers deux joints toriques.

Les éjecteurs à vapeur à quatre étages plus un groupe d'amorçage donnent une capacité d'aspiration de 200 kg d'équivalent air à 1 torr. Pendant le traitement sous vide, l'oxygène est soufflé par le haut de la poche, tandis que la brique poreuse joue le rôle du moteur qui maintient le bain en mouvement et assure le renouvellement des couches.

Il est absolument impossible de décarburer sans cette mise en mouvement par insufflation d'argon.

La consommation totale d'argon pour cette opération est de 0,2 m^3/t.

Pendant la décarburation, le bain est en ébullition violente et il faut prévoir dans la poche une hauteur de garde de un mètre. La durée du traitement sous vide est d'une demi-heure. L'opération se termine par une désoxydation par le carbone, le soufflage de l'oxygène étant arrêté.

Les avantages de cette méthode sont les suivants :

— accroissement important de la productivité du four qui ne sert plus que d'engin de fusion ;

— économie de réfractaires du four où on n'atteint plus des températures élevées ;

— économie d'oxygène, car on ne scorifie plus inutilement du chrome ;

— économie de réducteurs, car on n'a plus à récupérer une importante quantité de chrome oxydé ;

— possibilité d'obtenir des teneurs en carbone très basses, impossibles à atteindre par la méthode classique. Nous pouvons garantir $C < 0{,}015$ % et même $C < 0{,}010$ % ;

— amélioration de la propreté par une accélération de la décantation des inclusions due au mouvement énergique de l'acier sous vide ;

— et surtout économie importante sur le prix de la charge, parce que tous les éléments d'alliages peuvent être introduits soit par des chutes d'aciers inoxydables, soit par des ferro-alliages à haute teneur en carbone.

Nous montrerons qu'en maîtrisant les conditions d'élaboration, il est possible de profiter au mieux des avantages de l'addition de bore, en limitant au maximum les restrictions d'emploi qu'elle impose.

PRÉLIMINAIRE

On peut tout d'abord rappeler brièvement les données « classiques » relatives à l'action du bore :

— l'influence de très faibles additions de bore sur la trempabilité a fait l'objet de nombreuses publications (1 à 8) : si les premières études sont longtemps apparues contradictoires, elles ont finalement mis en évidence le rôle prépondérant du mode d'élaboration. On a alors introduit la notion de bore actif et de bore inactif, ou combiné (l'oxygène et l'azote étant les éléments les plus nocifs) ;

— le gain de ténacité que l'on peut escompter de l'addition de bore a été également démontré (6 à 10) ;

— inversement, on a souvent insisté sur les inconvénients apportés par le bore : dégradation de la propreté, abaissement de la température de brûlure, augmentation de la tendance à la surcarburation.

Le développement des aciers au bore auquel on assiste actuellement est dû principalement aux progrès accomplis par les moyens d'élaboration, de contrôle et de mise en œuvre qui ont permis de maîtriser les techniques de fabrication et d'emploi des aciers au bore.

Nous passerons successivement en revue :

— l'élaboration : différents modes opératoires plus ou moins classiques ont été étudiés à Ugine pour aboutir à la méthode d'élaboration actuelle ;

— le gain de trempabilité : on comparera l'acier au bore, soit avec la même nuance sans bore, soit avec la nuance plus alliée de trempabilité voisine ;

— le gain de ténacité : on montrera qu'il peut être en partie atteint indépendamment de la trempabilité ;

— l'effet du bore sur la forgeabilité, la fatigue, les paramètres de cémentation, de traitement thermique et l'usinabilité.

ÉLABORATION

Les nombreux auteurs qui ont étudié les aciers au bore ont montré l'influence prépondérante des paramètres d'élaboration sur le résultat atteint. En effet, une addition de bore excessive (globalement ou localement) entrainerait de nombreux déboires dans la mise en forme ou l'emploi de l'acier :

— détérioration de la propreté, car le bore est un désoxydant ;

— difficulté de forgeage. Ainsi, on a pu observer, avec certaines méthodes d'élaboration, des phénomènes de brûlures localisées dues à des ségrégations de bore ;

— difficultés de cémentation. Le bore favorise en effet la précipitation des carbures et donc la surcarburation.

Depuis quelques années déjà, nous avons effectué à Ugine des essais destinés à explorer différentes voies offertes. On peut en retenir quatre principales :

— technique 1 (la plus ancienne) : addition de ferrobore ;

— technique 2 (la plus classique) : addition simultanée de bore et d'éléments désoxydants et dénitrurants (titane par exemple), soit indépendamment, soit au moyen d'alliages complexes (grainal par exemple) ;

— technique 3 : la mise au point à Ugine d'une méthode spéciale a permis, comme nous le montrerons par la suite, d'éviter certains inconvénients des deux premières ;

— technique 4 : méthode particulière qui valorise l'effet du bore sur la ténacité de l'acier sans augmenter sa trempabilité.

N.B. — Les résultats qui vont être présentés sont en grande majorité relatifs à la technique 3, qui ne sera pas précisée pour ne pas alourdir l'exposé. Des résultats provenant des autres méthodes seront parfois présentés comme points de comparaison.

La mise au point progressive d'une méthode d'élaboration spéciale nous a permis :

— de limiter strictement le niveau des teneurs en bore,

— d'assurer une bonne reproductibilité de l'addition,

— d'obtenir une propreté de l'acier tout à fait satisfaisante : cote oxyde de 2 à 2,5 (échelle ASTM) contre 3,5 à 4 pour les méthodes classiques,

— de garantir une bonne homogénéité de composition dans le métal. Ainsi, le *tableau I* montre les résultats d'analyses spectrographiques en différents points d'une coulée contenant 35 ppm de bore et d'une coulée contenant 15 ppm de bore : on constate une faible dispersion et pas de ségrégation systématique. La dernière colonne du tableau permet la comparaison avec des résultats obtenus sur un lingot élaboré selon la technique 1 (FeB) : on peut noter les hétérogénéités importantes qui ont été relevées (dispersion de 28 à 60 ppm).

TABLEAU I : Homogénéité des teneurs en bore sur deux coulées (méthode 3) et un lingot (méthode 1).

Bore en ppm	Premier lingot		Lingot milieu		Dernier lingot		Méthode 1
Tête	B	37 - 14	B	33 - 15	B	35 - 16	51
	M.R.	38 - 15	M.R.	34 - 15	M.R.	38 - 12	39
	C	38 - 15	C	37 - 15	C	39 - 15	28
Milieu	B	37 - 14	B	34 - 14	B	37 - 12	50
	M.R.	39 - 10	M.R.	37 - 14	M.R.	36 - 12	32
	C	31 - 12	C	34 - 15	C	28 - 13	60
Pied	B	31 - 15	B	34 - 14	B	35 - 14	30
	M.R.	37 - 12	M.R.	36 - 15	M.R.	33 - 11	45
	C	34 - 14	C	34 - 13	C	28 - 13	59

B = bord M.R. = mi-rayon C = centre

Nous allons dégager des essais effectués en parallèle sur différentes nuances :

— l'influence de l'addition de bore,

— les caractéristiques relatives de chaque mode d'élaboration.

ACTION DU BORE SUR LA TREMPABILITÉ

Il n'est plus besoin de prouver l'action du bore ur la trempabilité. On peut s'en convaincre en comarant les courbes Jominy de coulées d'analyses voines avec et sans bore, comme par exemple :

6 MC5 (fig. 1a) B = 38 ppm

0 Mo Cr4 (fig. 1b) B = 48 ppm

B CD4 (fig. 1c) B = 43 ppm

0 NCD2 (fig. 1d) B = 48 ppm

C 18 et XC 38 (fig. 2) B = 22 et 35 ppm respectivement.

De même, on voit sur la *figure 3a* que la courbe ›miny d'un acier 20NCD2 B est située nettement au-dessus de la bande de dispersion donnée par l'AFNOR pour la 20NCD2. Les mêmes conclusions peuvent être tirées pour le 20NC6 B (fig. 3b).

Le gain de trempabilité entraîné par le bore peut être apprécié d'une autre façon : au lieu de comparer la courbe Jominy de l'acier au bore à la bande de dispersion de la même nuance sans bore, on peut rechercher la nuance plus alliée de trempabilité équivalente. On met ainsi directement en évidence le gain d'élément d'alliage permis par l'addition de bore.

Ainsi, on peut constater que le 20NC6 B est situé dans le haut de la bande de dispersion du 18NC13 (fig. 4a). Le 20NCD2 est légèrement supérieur au maximum de la fourchette du 18NCD6 aux faibles distances Jominy (fig. 4b). De même, on peut comparer le XC 38 à un 38 C4 pour les distances Jominy inférieures à 10 mm (fig. 4c).

L'action du mode d'élaboration sur la trempabilité est complexe. La *figure* 5 permet de comparer pour le 20NCD2 :

— une bande supérieure contenant diverses coulées avec addition de bore de trempabilité pour différents modes d'élaboration,

— une bande inférieure contenant des coulées sans bore d'analyse très voisine des précédentes,

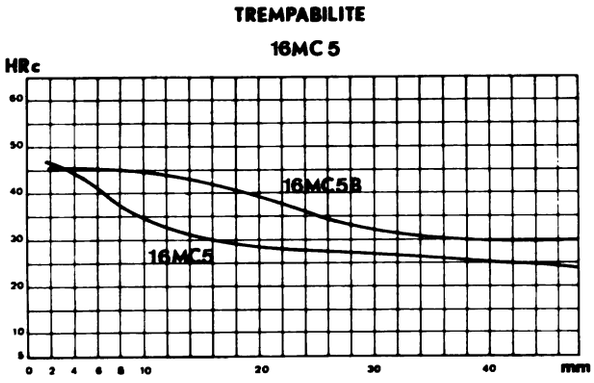


Figure 1 a.

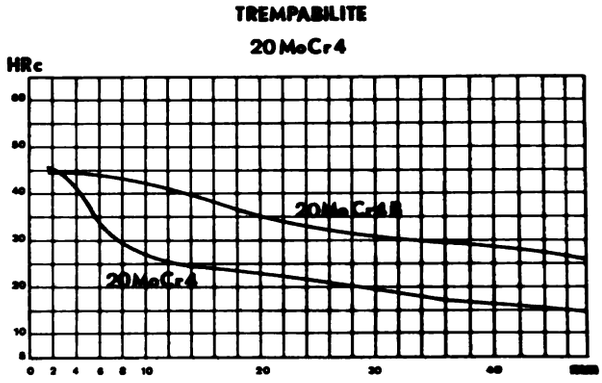


Figure 1 b.

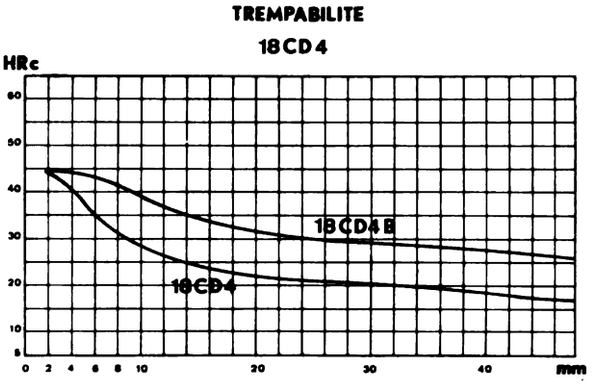


Figure 1 c.

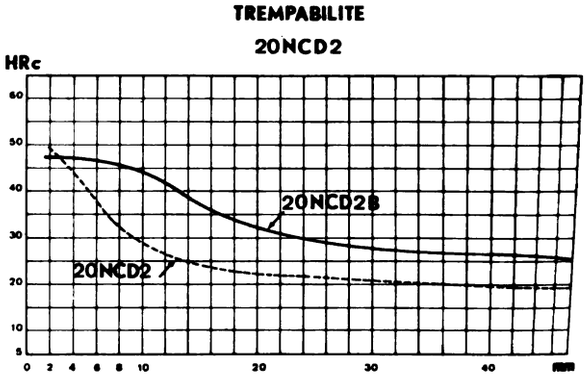


Figure 1 d.

Figure 1. — Courbes Jominy comparées pour quatre nuances avec et sans bore

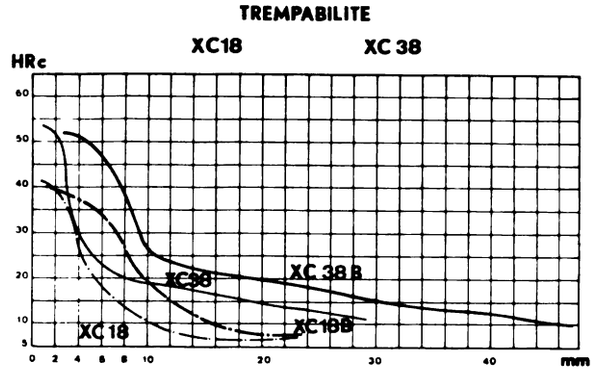


Figure 2. — Courbes Jominy comparées pour deux aciers au carbone avec et sans bore.

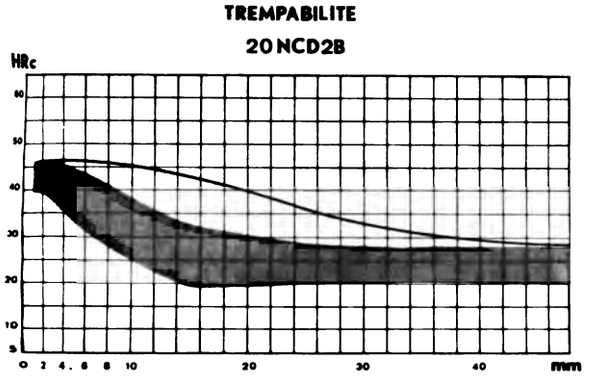


Figure 3 a.

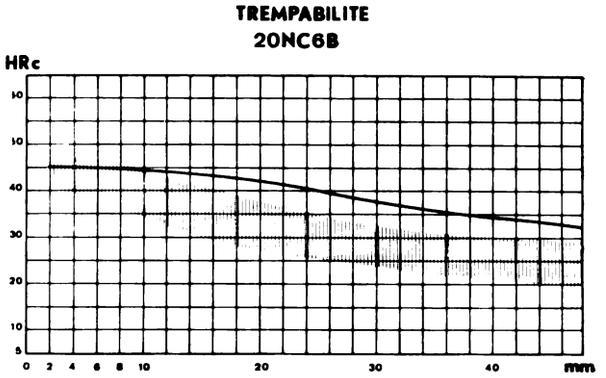


Figure 3 b.

Figure 3. — Position relative des courbes Jominy de deux aciers au bore et de la bande de dispersion de l'acier correspondant sans bore.

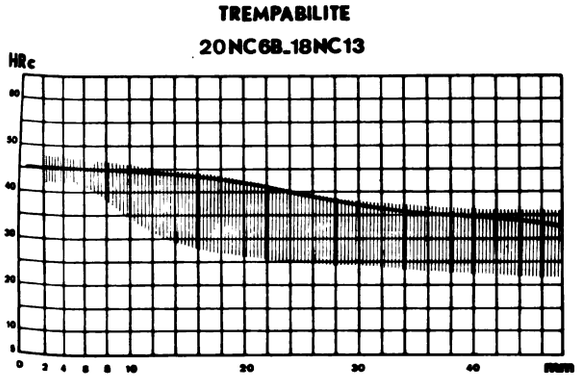


Figure 4 a

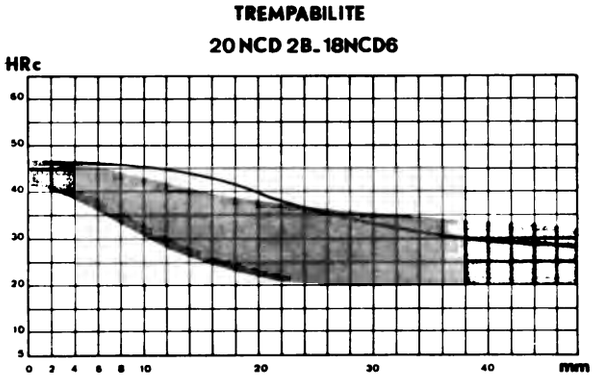


Figure 4 b.

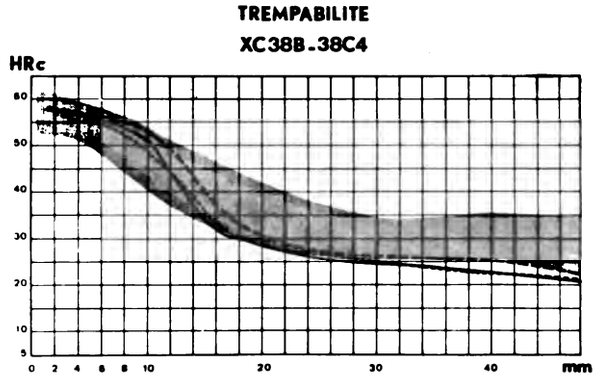


Figure 4 c.

Figure 4. — Position relative des courbes Jominy de trois aciers au bore et de la bande de dispersion de l'acier plus allié sans bore de trempabilité équivalente.

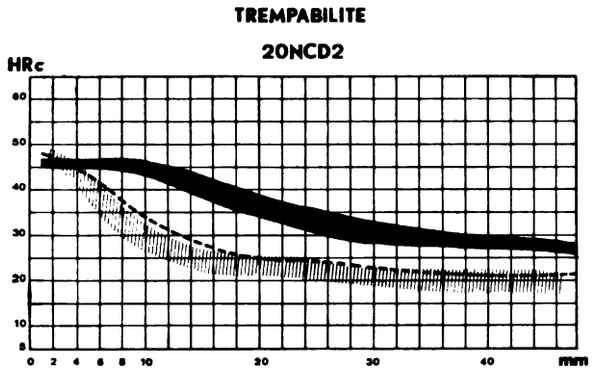


Figure 5. — Influence des différentes méthodes d'élaboration sur la trempabilité du 20 NCD 2 B.

— une courbe Jominy d'une coulée avec addition de bore de ténacité (technique 4).

On constate que :

— la dispersion est la même pour les coulées sans B et avec addition de B de trempabilité,

— l'addition de B de ténacité ne modifie pas la trempabilité,

— l'action du bore de trempabilité ne semble pas dépendre sensiblement du mode d'élaboration.

ACTION DU BORE SUR LA TÉNACITÉ

Ténacité à l'état traité.

On a tout d'abord comparé la ténacité à l'état trempé détendu du 16MC5 et du 20NCD2 avec et sans bore pour différentes élaborations (tabl. II) ; chaque résultat est une moyenne d'au moins 5 coulées ou prélèvements (éprouvettes prélevées en sens long).

On doit noter que :

— le gain apporté par le bore de ténacité est faible, mais significatif (+ 0,7 daJ/cm²) ;

— les additions de B par les techniques 1 ou 2 paraissent légèrement défavorables par rapport au B de ténacité. Ceci est d'ailleurs d'autant plus accentué que la teneur en B augmente ; en effet, une coulée de 16MC5 B contenant 80 ppm de B donne une résilience de K_{CU} = 5,3 au lieu de 5,7 (chiffre entre parenthèses) ;

TABLEAU II : Ténacité à l'état trempé détendu (K_{CU}).

Nuance			16 MC 5	20 NCD 2
Traitement	Trempe huile		870°C	850°C
	Détente		200°C 1 h	180°C 1 h
Sans bore			5,3	4,3
Bore de ténacité		4	6	5
Bore		1	5,7 (5,3)	4,5
de		2		4,8
trempabilité		3	8,2	6,3

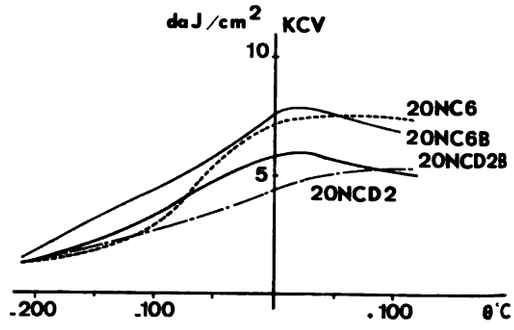


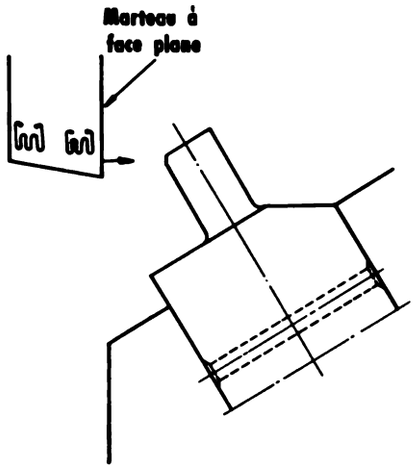
Figure 6. — Courbes de transition.

— la méthode Ugine permet de valoriser totalement l'effet de l'addition de bore du fait de la propreté de l'acier (en particulier, absence de titane : augmentation voisine de 50 %.

L'influence de B sur la ténacité est sensible également sur la courbe de transition (fig. 6) : pour le 20NCD2 B et pour le 20NCD6 B, on note une transition peu marquée, une décroissance lente de la résilience avec la température et donc une ductilité à basse température meilleure que pour la variante sans B (état trempé détendu pour une dureté voisine de 150 hbar).

Ténacité à l'état cémenté.

Mais l'effet du bore sur la ténacité apparait plus nettement à l'état cémenté grâce à l'essai de fissura-

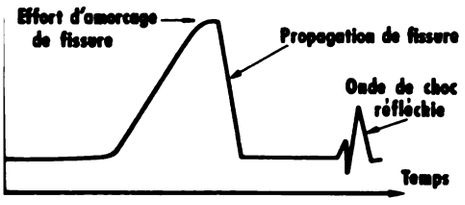


7. — Principe de l'essai de fissuration sous choc.

Figure 8. — Essai de fissuration sous choc. Vue de détail de l'appareillage : marteau et éprouvette.

ous choc mis au point à la Zahnrad-Fabrik (11) lans lequel un marteau à face plane (fig. 7) ; de jauges de contraintes vient frapper une vette cémentée ayant la forme d'une dent d'en-ge. Le tout est monté sur un mouton-pendule 3) et accompagné d'une chaine de mesures oniques (fig. 9). L'oscillogramme obtenu (fig. 10) t de déterminer l'effort d'amorçage de la fis-et sa vitesse de propagation.

nsi, on peut comparer, dans le cas de la tech-4 (bore de ténacité), les efforts de fissuration choc (tabl. III) du 16MC5 avec et sans B pour nts potentiels carbone (normal et surcarbura-et pour différentes profondeurs de cémentation es dans les boîtes de vitesses :



AMME D'EFFORT ENREGISTRÉ A L'OSCILLOSCOPE (durée totale 250 μsec.) SUR ACIER A HAUTE RESISTANCE.

10. — Essai de fissuration sous choc. Interprétation du diagramme obtenu.

Figure 9. — Essai de fissuration sous choc. Vue d'ensemble de l'appareillage : mouton-pendule et chaine de mesures électroniques.

TABLEAU III : Bore de ténacité. Acier 16 MC 5. Effort de fissuration (kg).

Potentiel carbone	0,8 %		1,1 %	
Profondeur de cémentation	0,8 à 1,0 mm	1,3 à 1,5 mm	0,8 à 1,0 mm	1,3 à 1,1 mm
16 MC 5 sans bore	4 250	3 900	4 000	3 400
16 MC 5 avec bore	4 850	4 650	4 600	3 800

TABLEAU IV : Ténacité à l'état cémenté. Acier 20 NCD 2. Effort de fissuration (kg).

Profondeur de cémentation H_v = 550		0,8 à 1 mm	1,3 à 1,5 mm
Cémentation 925°C ↘ 840°C Potentiel carbone = 0,8 %		6 h	9 h
Sans bore		4 700	4 300
Bore de ténacité 4			4 700
Bore de trempabilité	Classique 2		5 300
	Ugine 3	6 100	5 600
20 NC 6		4 800	
18 NCD 6		5 300	

- 0,8 à 1 mm véhicules légers
- 1,3 à 1,5 mm poids lourds (et ponts).

On constate que :

— l'accroissement de la profondeur de cémentation est, dans tous les cas, défavorable ;

— la surcarburation est également défavorable et la nuance au bore y est plus sensible (surtout aux fortes profondeurs de cémentation) ;

— cependant, l'amélioration due au bore est nette et significative dans tous les cas.

LEAU V : Résultats des essais de fissuration sous choc. t de fissuration (kg). Prélèvements : carré 100 mm à ayon.

Nuance	Long	Travers //	Travers ⊥
0 NC 6	4 300	4 100	3 900
NC 6 B	4 800	4 300	4 200
B NC 13	4 700	4 700	4 700
NCD 2	4 700	4 300	4 200
NCD 2 B	5 100	4 900	4 600
3 NCD 6	5 000	4 400	4 300

probablement être relié aux résultats de ténacité état traité (voir paragraphe « Ténacité à l'état é »).

ience du bore sur la ténacité d'éprouvettes travers.

On a voulu s'assurer que l'amélioration de téna- observée ci-dessus ne s'accompagnait pas d'une adation des propriétés travers de l'acier.

Nous avons rassemblé sur le *tableau V* les résul- de fissuration sous choc :

le la nuance 20NC6 avec et sans bore et du 8NC13 de trempabilité équivalente,

e la nuance 20NCD2 avec et sans bore et du 8NCD6 de trempabilité équivalente.

es prélèvements ont été effectués dans du carré mm à mi-rayon :

n long,

n travers avec le plan de la dent parallèle au ibrage,

n travers avec le plan de la dent perpendiculaire u fibrage.

es trois nuances de chacun des deux groupes été cémentées en même temps.

On remarque :

supériorité du travers parallèle sur le travers erpendiculaire,

— l'augmentation faible de l'effet travers du 20NC6 par le bore,

— la diminution faible de l'effet travers du 20NCD2 par le bore,

— l'effet travers est nul pour le 18NC13 et très accentué pour le 18NCD6.

On voit que l'amélioration des propriétés de ténacité de l'acier par le bore est sensible en long comme en travers. L'effet travers des aciers au bore est du même ordre de grandeur que celui des aciers conventionnels habituellement utilisés.

ACTIONS « SECONDAIRES » DU BORE

Nous avons ensuite examiné l'action du bore sur différentes propriétés de l'acier ; on fait ainsi apparaitre :

— certaines précautions à prendre dans l'emploi des aciers au B,

— certains avantages supplémentaires de l'addition de bore.

Forgeabilité.

La *figure 12* permet de mesurer l'influence du bore sur la déformabilité à chaud de l'acier 20NCD2.

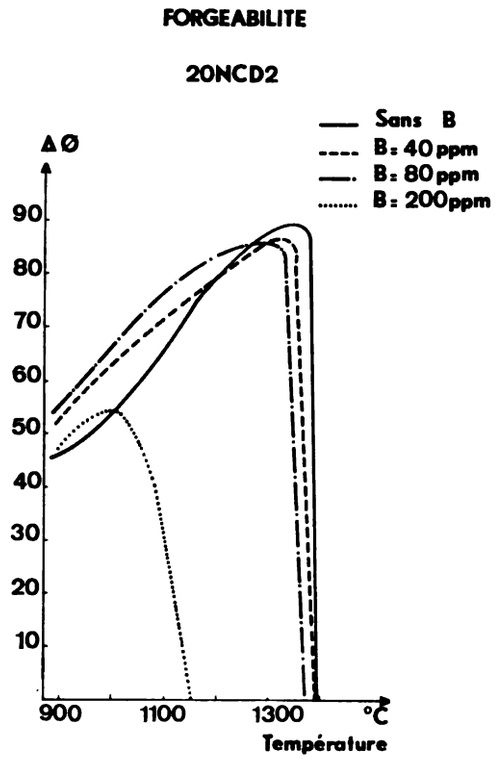


Figure 12.

L'essai utilisé est une traction à chaud à grande vitesse (15). Le chauffage est obtenu par effet Joule direct sur l'éprouvette et la vitesse de déformation est voisine de 1 200 % par seconde.

On voit que la température de brûlure diminue sensiblement dès que l'on ajoute du bore. Cependant, cette décroissance n'entraine aucune difficulté de forgeage tant que la teneur en B reste faible (par contre pour 200 ppm la brûlure apparait vers 1 100°C). Il faut noter de plus que, comme tous les désoxydants, le bore facilite la déformation du métal à température descendante (on peut donc forger plus froid).

Fatigue.

On peut lire sur le *tableau VI* (*) différents résultats de fatigue obtenus sur machines Moore à 166 Hz pour une durée de vie de 10^8 cycles (fig. 13). On constate :

— à l'état traité, l'influence favorable du bore sur la limite de fatigue σ, et aussi sur le rapport σ/R : ce dernier varie peu d'un acier à l'autre (13) mais augmente sensiblement pour les variantes au bore,

— l'influence défavorable des fortes teneurs en bore (16MC5 avec 80 ppm),

— l'influence défavorable des inclusions titanées de la technique 2 tant à l'état cémenté (20NC6) qu'à l'état traité (20NCD2).

(*) On a indiqué la limite de fatigue σ (50 % de chances de rupture à 10^8 cycles) ainsi que la demi-largeur de la zone de rupture probable (contrainte à ajouter ou retrancher à σ pour obtenir respectivement 97,5 % et 2,5 % de chances de ruptures).

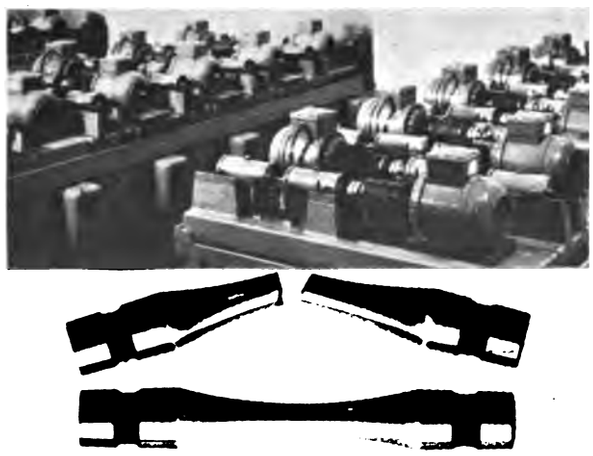


Figure 13.

TABLEAU VI : Essais de fatigue sur machines Moc

Nuance		Teneur en bore (ppm)	Métal traité σ (hbar)	Métal traité σ/R	cém (hb
18 CD 4		—	47 ± 2	0,41	
		50	60 ± 3	0,47	
20 Mo Cr4		—	55 ± 2	0,39	
		50	60 ± 3	0,43	
16 MC 5		—	57 ± 3	0,38	66 :
		30	62 ± 2	0,45	68 :
		80	53 ± 2	0,39	
20 NC 6		—	48 ± 3	0,40	70 ±
	3	35	57 ± 3	0,43	78 ±
	2	20			67 ±
20 NC 2		—	58 ± 6	0,43	71 ±
	1	30	63 ± 3	0,45	
	1	60	65 ± 3	0,46	68 ±
	3	40	67 ± 2	0,45	72 ±
	2	45	58 ± 4	0,48	

On a présenté de même au *tableau VII* les lin de fatigue de différents aciers pour des prélèvem en travers. On constate que :

— le bore de ténacité ne modifie pas l'effet tr du 16MC5 cémenté ;

— le bore de trempabilité diminue légèrement l travers du 20NC6 traité et cémenté en même t qu'il améliore la résistance à la fatigue ;

— pour le 20NCD2 à l'état traité, le rôle du bo complexe ; l'addition de FeB (technique 1) dé

TABLEAU VII : Résultats d'essais de fatigue. Prélèvements : 100 mm de côté à mi-rayon.

Nuance			Métal traité				Métal cémenté	
			Long		Travers		Long	Travers
			σ L (hbar)	σ L/RL	σ T (hbar)	σ T/RT	σ L (hbar)	σ T (hbar)
16 MC 5		—					66 ± 4	52 ± 2
	4	+ B					68 ± 1	51 ± 3
20 NC 6		—	48 ± 3	0,40	32 ± 4	0,25	70 ± 3	33 ± 6
	3	+ B	58 ± 3	0,43	38 ± 3	0,30	78 ± 5	47 ± 5
20 NCD 2		—	58 ± 6	0,43	38 ± 3	0,30	71 ± 4	47 ± 3
	1	+ B (20)	63 ± 3	0,45	36 ± 2	0,24		
	1	+ B (60)	65 ± 3	0,46	30 ± 3	0,22	68 ± 6	36 ± 4
	3	+ B	67 ± 2	0,44	36 ± 3	0,25		
	2	+ B	59 ± 4	0,48	36 ± 2	0,28	72 ± 3	45 ± 3

nettement les propriétés travers, la méthode classique (technique 2) augmente légèrement l'effet travers sans modifier la limite de fatigue. La technique 3 est intermédiaire : la limite de fatigue est légèrement augmentée en long et peu modifiée en travers ;

— pour le 20NCD2 cémenté, l'addition de bore ne modifie pas les propriétés de fatigue tant que les teneurs restent faibles. Pour 60 ppm de bore, par contre, les limites de fatigue sont dégradées en long et en travers.

On peut déduire de ces résultats que l'addition de bore n'entraîne aucune détérioration sensible de la limite de fatigue des éprouvettes prélevées en travers, du moins si la teneur en bore reste faible.

Paramètres de cémentation.

Le rôle surcarburant du bore a été souvent souligné. On peut l'apprécier par la technique dite des éprouvettes Jominy cémentées. L'exemple de la *figure 14*, relative au 20NCD2, permet de montrer les valeurs caractéristiques que l'on peut déduire de cet essai :

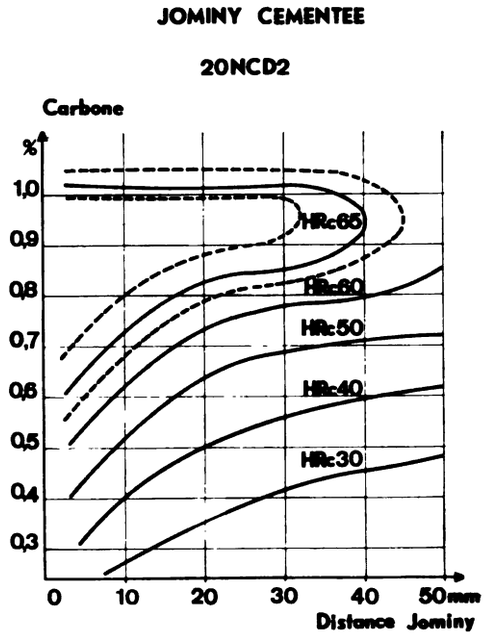


Figure 14.

TABLEAU VIII : Détermination des critères de cémentation par la technique des éprouvettes Jominy cémentées.

Nuance	Teneur en C optimale	Facilité de cémentation	Ecart pour 65 Rc	Dureté max HRc
16 MC 5 B	0,750	0,050	0,700 à 0,800	65
20 NCD 2	0,850	0,360	0,700 à 1,000	68
20 NCD 2 B	0,750	0,270	0,600 à 0,850	66
18 NCD 6	0,800	0,270	0,700 à 0,900	66
20 NC 6	0,800	0,250	0,700 à 0,900	65
20 NC 6 B	0,900	0,200	0,800 à 1,000	67
18 NC 13	0,800	0,090	0,750 à 0,850	65

— teneur en C optimale,

— facilité de cémentation à J_5,

— écart pratique toléré par la nuance.

On a reporté ces renseignements (ainsi que la dureté maximale obtenue) au *tableau VIII* pour différents aciers, leurs variantes au B, et les nuances qu'elles peuvent remplacer.

On voit que le bore diminue nettement la facilité de cémentation du 20NCD2 et du 20NC6 mais que les chiffres obtenus sont du même ordre que ceux du 18NCD6 et très supérieurs à ceux du 18NC13. Le cas du 16 MC5 est particulier du fait de l'absence totale d'éléments régulateurs comme le Ni et le Mo. Quant à la teneur optimale en C, elle est abaissée pour le 20NCD2, élevée pour le 20NC6.

On voit donc que l'influence du bore sur le traitement de cémentation est tout à fait secondaire. En effet, bien que le rôle surcarburant du B ne soit plus à démontrer (14), les faibles teneurs mises en jeu ici minimisent son effet.

Déboruration.

Nous avons voulu vérifier (sur une nuance 16MC6 à 80 ppm de bore pour amplifier le phénomène) l'importance d'une éventuelle déboruration au cours d'un traitement thermique long (cémentation). La *figure 15* montre l'importance de la zone déborurée sur 3 échantillons :

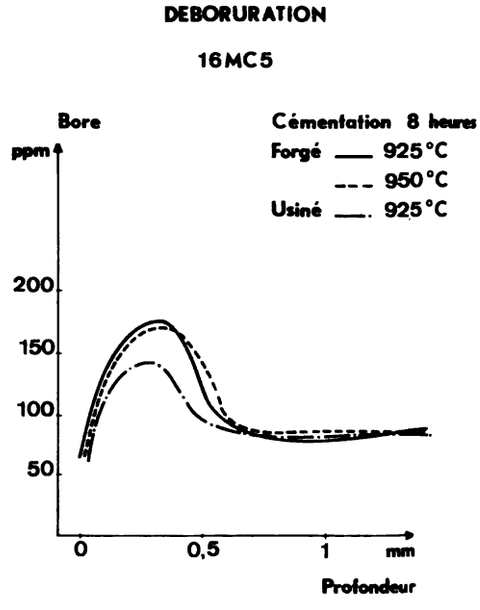


Figure 15.

— brut de forgeage et cémenté 8 h à 925°C,

— brut de forgeage et cémenté 8 h à 950°C,

— usiné après forgeage et cémenté 8 h à 925°C.

On observe une zone déborurée très faible (0,05 ppm) suivie d'une région légèrement enrichie en B (0,5 mm). Le phénomène apparaît déjà au cours du forgeage et il est très légèrement amplifié par un accroissement de la température.

Décomposition isotherme de l'austénite.

Pour obtenir une structure favorable à l'usinabilité, on pratique souvent un recuit de décomposition isotherme de l'austénite. Or, les aciers très trempants sont rarement susceptibles d'un tel traitement du fait des temps très longs qui seraient nécessaires : nous avons tenté de déterminer le comportement des aciers au bore par la détermination sommaire, par voie micrographique, du « nez » de la décomposition perlitique de l'acier 16MC5 avec et sans bore (fig. 16).

L'action du bore se révèle :

— très nette sur l'apparition de la ferrite (on vérifie ainsi son influence sur la trempabilité),

— faible sur l'apparition des premiers carbures,

— nulle sur la fin de la transformation (et même légèrement accélératrice dans notre cas particulier).

La décomposition isotherme de l'austénite sera donc aussi facile sur une nuance au bore que sur la variante sans B, beaucoup plus facile en tout cas que sur la nuance plus alliée de même trempabilité. Des essais sur aciers 20NC6 et 20 NCD2 nous ont permis de vérifier ce point sur d'autres aciers que le 16MC5.

Essais d'usinabilité.

Différents essais d'usinabilité ont été effectués sur un acier 16MC5 avec et sans B :

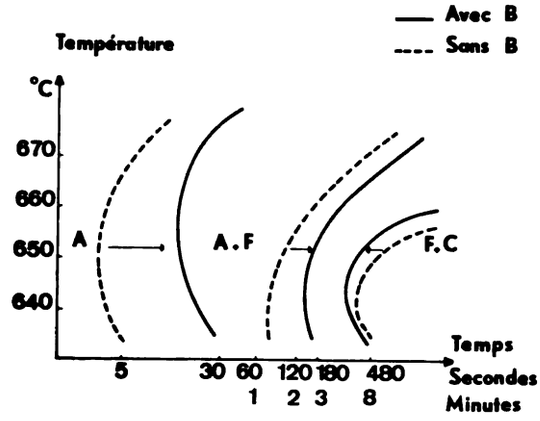


Figure 16. — Diagramme TTT de l'acier 16 MC 5.

— vitesse compatible (décolletage),

— usure d'outil en tournage (chariotage),

— usure d'outil en taillage (fraisage).

Les résultats sont présentés au *tableau IX* pour deux structures : normalisation et recuit isotherme. On voit que les différences sont faibles, relativement à celles que l'on observe habituellement dans ce genre d'essai. On peut cependant noter que :

— l'avantage va systématiquement à la nuance au bore,

— les traitements se classent de façon identique pour les deux nuances : recuit isotherme supérieur pour les tests de vitesse compatible et de taillage, moins bon pour le tournage.

TABLEAU IX : Essais d'usinabilité sur un acier 16 MC 5.

Traitement thermique			Normalisation		Recuit isotherme	
Nuance			16 MC 5	16 MC 5 B	16 MC 5	16 MC 5 B
Vitesse compatible (m/s)			58,2	60,6	58,7	66,3
Tournage	minutes	16	0,21	0,18	0,24	0,17
Usure d'outil (mm)		32	0,33	0,30	0,38	0,28
Taillage	cannelures	6	0,13	0,12	0,09	0,08
Usure d'outil (mm)		12	0,23	0,16	0,14	0,12

On peut signaler de plus que le bore n'a aucun effet sur la morphologie des copeaux obtenus.

Enfin, la technique 2, avec ses inclusions titanées, ne paraît pas favorable du point de vue usinabilité.

SYNTHÈSE

Nous avons rassemblé ci-dessus un certain nombre de résultats relatifs à l'influence d'une addition de bore sur diverses propriétés des aciers de construction. On peut dégager de cette étude différentes conclusions :

— certains modes d'addition du bore conduisent à une amélioration de la ténacité seule ;

— lorsque l'on constate une augmentation de la trempabilité, elle dépend peu de la technique d'élaboration ;

— par contre, les propriétés de ténacité et de fatigue sont fortement influencées par le mode d'introduction du bore ;

— une addition trop forte de bore dégrade sensiblement la forgeabilité, les propriétés de ténacité et de fatigue ainsi que la tendance à la surcarburation.

C'est pourquoi il est nécessaire de bien maîtriser les paramètres d'élaboration de façon à assurer une addition limitée, reproductible et homogène. On peut alors garantir les gains de trempabilité et de ténacité tout en limitant au maximum les précautions à prendre (du fait de la présence du bore), qui deviendraient prohibitives en présence d'excès de B ou de ségrégations.

Ainsi, on a pu obtenir :

— un abaissement suffisamment faible de la température de brûlure pour ne pas entraver le forgeage des aciers de construction,

— une facilité de cémentation peu modifiée et tout à fait accessible aux moyens actuels de contrôles d'atmosphères,

— une augmentation nette de la limite de fatigue et surtout du rapport σ/R,

— une amélioration sensible de l'usinabilité, due principalement à une grande facilité d'adoucissement par traitement isotherme,

— un accroissement très important de ténacité,

— une économie certaine d'éléments d'alliage due à un grain de trempabilité très élevé.

discussion

M. PORTEVIN (Creusot-Loire, Firminy) - Pour une même teneur en bore, avez-vous trouvé une différence sur la température de brûlure en fonction du mode d'introduction du bore dans le métal ?

M. TRICOT - Le mode d'élaboration ne semble pas avoir une action sur la température de brûlure ; il est probable que le paramètre influent est le bore total, ainsi que des ségrégations éventuelles de bore.

M. MAGAND (Manufrance) - Quel est le comportement des aciers au bore lors du traitement thermique par haute fréquence avec refroidissement par eau ? Constate-t-on la présence de micro-fractures ?

M. TRICOT - Nous n'avons pas l'expérience de ce genre de traitement.

M. SAYETTAT (CETIM) - Avez-vous effectué des essais de fatigue sur éprouvettes entaillées ? Quelle est l'influence des additions de bore sur le KF ?

M. TRICOT - Des essais sont en cours actuellement.

M. SAYETTAT - Les propriétés de trempabilité des aciers au bore sont assez dispersées, en particulier sur les XC 18 et XC 22. Les aciéristes sont-ils conscients de ce problème ?

M. TRICOT - L'addition de bore de trempabilité ne semble pas introduire une dispersion Jominy supplémentaire par rapport aux aciers sans bore. Les écarts cités ici proviennent très probablement :

— soit d'une maîtrise insuffisante de la technique d'addition s'il s'agit de métal de même provenance,

— soit de différences entre les modes d'élaboration de différents fournisseurs.

M. MEYZAUD (IRSID) - En ce qui concerne la dispersion des caractéristiques mécaniques obtenues après traitement thermique, je crois que l'on peut faire la remarque suivante : les aciers peu alliés sont en général utilisés près de leur vitesse critique de trempe martensitique, ce qui fait que de petites variations des conditions de trempe peuvent entraîner des variations considérables de la dureté. Les courbes Jominy qui viennent d'être présentées montrent que l'addition de bore tend à les rendre plus plates, ce qui devrait au contraire diminuer la dispersion des caractéristiques mécaniques après trempe (ou trempe et revenu).

M. RABBE (Creusot-Loire, Unieux) - Avec combien d'éprouvettes avez-vous déterminé la limite d'endurance ?

M. TRICOT - 50 environ.

M. RABBE - Avec 50 éprouvettes, la moyenne de la distribution est bien déterminée. Il paraît donc surprenant que la limite d'endurance à 50 % d'éprouvettes rompues soit donnée avec une incertitude de ± 10 % ?

M. TRICOT - A propos des limites d'incertitude indiquées, on peut faire deux remarques :

— la limite de fatigue a été déterminée à 10^5 cycles ;

— la pente de la courbe de Wöhler est importante (surtout pour les éprouvettes cémentées).

Ces deux facteurs accroissent donc la dispersion expérimentale. De plus, notre méthode de dépouillement nous donne un intervalle de confiance à 99,9 % environ.

M. MARATRAY (Climax Molybdenum, Paris) - Les trois méthodes d'addition du bore que vous avez utilisées vous ont-elles donné des dispersions différentes de la trempabilité ?

M. TRICOT - Les différentes méthodes d'élaboration indiquées n'ont pas toutes eu le développement industriel suffisant pour que l'on puisse répondre avec précision à cette question.

M. RABEY (S.P.A.S., Paris) - Depuis plus de 20 ans, on a beaucoup parlé de l'action du bore sur la trempabilité. Par contre, l'action favorable sur la ténacité est moins connue. Existe-t-il une explication de cette dernière action ?

M. TRICOT - On a seulement pu avancer des hypothèses (comme par exemple l'action du nitrure de bore) dont la vérification est extrêmement délicate du fait des faibles teneurs nécessaires et des difficultés analytiques rencontrées.

M. RABEY - Parmi les actions favorables du bore, vous avez signalé la plus grande facilité de recuit qui permet, à trempabilité égale, d'améliorer l'usinabilité. Peut-être pourrait-on également signaler l'amélioration de l'aptitude à la déformation à froid (frappe à froid, extrusion...) apportée par le bore ?

M. TRICOT - Cette application est en effet bien connue également ; elle est très probablement liée à la plus grande facilité d'adoucissement que présentent les nuances au bore (à trempabilité égale).

M. MAROY (S.P.A.S., Paris) - Quels sont les avantages des aciers au bore pour les étireurs et les tréfileurs en fonction des 4 méthodes d'addition citées, et en particulier la quatrième ?

M. TRICOT - Cette question complète la précédente : le bore permet, par le gain qu'il apporte en trempabilité (méthode 1, 2 ou 3) et en ténacité (méthode 3 et méthode 4 principalement), de faire une économie d'éléments d'alliage qui se répercutera sur la facilité d'adoucissement du métal.

M. MUNIER (Jeumont-Schneider, Jeumont) - Quelle est l'action du bore sur la grosseur du grain ?

M. TRICOT - Nos aciers sont tous à grain contrôlé, ce qui ne permet pas de mettre en évidence une éventuelle action du bore.

M. PIRON (SOLLAC, Paris) - Dans le cas d'une soudure électrique par rapprochement (étincelage), le risque de fragiliser le joint soudé par la formation d'un eutectique Fe-C-B est-il grand pour un XC 42 au bore ?

M. TRICOT - Du fait des très faibles teneurs en bore, l'apparition d'un eutectique Fe-C-B paraît peu probable dans les aciers de construction au bore : dans un XC 38 B, nous n'avons vu aucune trace d'eutectique après avoir effectué un trait de fusion.

M. PIRON - Pourquoi certains aciéristes préconisent-ils la trempe à l'huile au lieu de la trempe à l'eau pour un XC 42 au bore. Quelle différence y a-t-il ?

M. TRICOT - La trempe à l'huile des XC au bore donne aux éprouvettes de diamètres 10 mm, les mêmes caractéristiques que la trempe à l'eau (nous avons vérifié ce fait sur un XC 38 B). Il ne paraît donc pas nécessaire de tremper à l'eau des pièces dont la section n'est pas trop importante au risque d'augmenter fortement les risques de tapure (l'influence de la section doit être étudiée dans chaque cas).

bibliographie

1 GRANGE (R.A.), GARVEY (T.M.). — *Trans. ASM*, 37 (1946), 136.

2 GRANGE (R.A.), MITCHELL (J.B.). — *Trans. ASM*, 53 (1961), 157.

3 KOHN (A.). — *Rev. Métallurg.*, 46, n° 12 (décembre 1949), 859-868.

4 POTASZKIN (R.). — *Rev. Métallurg.*, 47, n° 1 (janvier 1950), 55-87.

5 POTASZKIN (R.), JASPART (M.). — *Rev. Métallurg.*, 48, n° 5 (mai 1951), 379-412.

6 SCHERER (R.), BUNGART (K.). — *Rev. Métallurg.*, 50, n° 2 (février 1953), 73-94.

7 DELBART (G.), KOHN (A.). — *Rev. Métallurg.*, 51, n° 5 (mai 1954), 337-363.

8 CLERC (A.). — *Métaux, Corrosion, Industries*, 387 (1957), 409.

9 ROSTENBER (S.J.), GRIMSLEY (J.D.). — *J. Iron Steel Inst.*, 182 (1956), 278. Trad. dans *C.I.T.* du C.D.S., 13, (1956), 1747.

10 TREPPSCHUH (H.), RANDAK (A.), DOMALSKI (H.H.), HURZEJA (J.). — *Stahl und Eisen*, 87 (1967), 1355. Trad. dans *C.I.T.* du C.D.S., 25 (1968), 371.

11 BRUGGER (H.), KRAUS (B.).— *Arch. Eisenhüttenwesen*, 32 (1961), 529.

12 MOULIN (L.), TRICOT (R.), CASTRO (R.). — *Rev. Métallurg.*, 66, n° 4 (avril 1969), 263-270.

13 CASTRO (R.). — *Rev. Métallurg.*, 68, n° 6 (juin 1971), 389-396.

14 MOULIN (L.), TRICOT (R.), CASTRO (R.). — *Rev. Métallurg.*, 65, n° 11 (novembre 1968), 761-770.

15 CASTRO (R.), POUSSARDIN (R.). — *C.I.T.* du C.D.S., n° 2 (1962), 505.

NOTE DE LA RÉDACTION

Nous attirons l'attention de nos lecteurs sur le numéro de novembre 1972 des Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie, *qui, comme le présent numéro, est aussi consacré aux 11es Journées des Aciers Spéciaux (Saint-Etienne, 4-5 mai 1972).*

En voici le sommaire :

— *Y. Meyzaud, C. Sauzay :* Prévision des pourcentages d'austénite résiduelle à l'aide des courbes de transformation en refroidissement continu des aciers.

— *P. Poyet, P. Guiraldenq, J. Hochmann :* Détermination du domaine γ dans les alliages fer-chrome à très faible teneur en carbone et en azote. Influence de ces éléments sur la forme de la boucle.

— *J.C. Brunet, G. Weisse, M. Hugo, J. Bellot :* Influence des éléments de la famille du soufre sur quelques propriétés mécaniques des aciers de construction.

— *J. Dauvergne, P. Gorbinet, J. Guimbard, P. Guiraldenq :* Régénération et recristallisation de l'austénite de l'acier inoxydable 18-10 bas carbone après laminage à la température ambiante.

— *B. Rondot, M. Da Cunha Belo, J. Montuelle :* Etude de la corrosion par piqûres et de la corrosion sous tension d'aciers inoxydables à l'aide d'alliages de très haute pureté.

— *H.P. Lieurade, P. Rabbe, L. Roesch :* Comportement des aciers inoxydables austénitiques sous contrainte maintenue ou répétée.

— *C. Morizot, Y. Honnorat :* Etude d'alliages super-réfractaires pour solidification unidirectionnelle.

— *R. Moreau, J. Brisou :* Quelques aspects de la corrosion des métaux par les bactéries. Applications aux aciers.

ce d'aciers faiblement alliés
haud sous contrainte (*)

Mme M. Palmier, J. Comon, J. Dollet
Ingénieurs à Creusot-Loire (Le Creusot)

rnées des Aciers Spéciaux, à Saint-Etienne, 4-5 mai 1972.

synthèse chi-
acteurs fonc-
ature élevée,
eurs dont les
nt être sans
pératures de
C, bien que
es propriétés
résistance à
ous pression,
uelle instabi-
qu'il s'agisse
volution des
du type fra-

peu de ris-
ait par contre
ie, d'un arrêt,

la participation
08).

On pourrait penser que l'expérience acquise dans le domaine des turbines à vapeur permette de réduire ces craintes. Cependant, la gamme de températures de calcul comprise entre 350 et 550°C doit être envisagée avec prudence : en dessous de 350°C, il y a peu de risque de fragilisation ; au-dessus de 500°C, les contraintes admissibles sont définies par le fluage et sont donc très faibles. Entre 350 et 500°C, par contre, les contraintes admissibles sont, en règle générale, nettement plus élevées et si elles existent dans une période transitoire, elles peuvent à la température ambiante, conduire à une rupture fragile si le métal a été dégradé par une fragilisation.

D'autre part, les capacités sous pression de grandes dimensions comportent de nombreux joints soudés sur lesquels la multiplication éventuelle des cycles de détente peut accroître la fragilité au départ. Les risques de concentrations de contraintes au niveau des congés de raccordement, fonds de filets, défauts de soudure ne sont pas non plus exclus ; autant de causes augmentant le risque d'amorçage de rupture fragile.

D'autre part, la tendance qui s'affirme, visant à utiliser les aciers à l'état trempé et revenu plutôt qu'à l'état normalisé et revenu pour atteindre de meil-

TABLEAU I : Composition des coulées.

Nuance	Coulée	C (%)	S (%)	P (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	Cu (%)	Sn (%)	As (%)	Sb (ppm)
10 CD 9-10	1	0,120	0,013	0,012	0,410	0,630	0,215	2,22	1,01	0,09	0,014	0,027	55
	2	0,125	0,015	0,011	0,370	0,600	0,190	2,25	1,04	0,21	0,025	0,025	84
	3	0,120	0,020	0,015	0,395	0,560	0,180	1,95	1,01	0,22	0,026	0,025	39
	4	0,125	0,014	0,014	0,370	0,595	0,285	2,00	1,06	0,315	0,024	0,021	56
10 CD 12-10	5	0,094	0,025	0,017	0,29	0,62	0,11	2,82	1,04	0,08	0,018	0,026	44
20 CND 10-10	9	0,17	0,008	0,015	0,235	0,75	0,865	2,46	0,345	0,21	0,019	0,039	7

TABLEAU II : Traitements thermiques initiaux.

Nuance	Coulée	Etat	Traitement initial					
			Trempe ou normalisation			Revenu		
			Température d'austénitisation (°C)	Durée d'austénitisation (h)	Vitesse de refroidissement après austénitisation (°C/h)	Température de revenu (°C)	Durée de revenu (h)	Vites de refr seme après r (°C/
10 CD 9-10	1	A	925	1	200	750	1	1 70
	2	B	925	1	24 000	770	5	1 70
	3	C	925	1	24 000	680	1	1 70
	4	A	925	1	200	750	1	1 70
		B	925	1	24 000	770	5	1 70
		C	925	1	24 000	680	1	1 70
10 CD 12-10	5	A	925	1	100	730	1	3 70
		B	925	1	3 700	790	1	3 70
		C	925	1	3 700	680	1	3 70
20 CND 10-10	9	A	925	1	200	700	1	4 70
		B	925	1	4 700	700	1	4 70
		C	925	1	4 700	640	1	4 70

TABLEAU III : Correspondance ASTM.

R \ Type de fabrication		Pièces forgées	Tôles épaisses
1er niveau de R	A	A 387 grade D ; 42 < R < 60 kg/mm² (normalisé revenu)	
	B	A 541 grade 6 R > 56 kg/mm² (Trempé et revenu)	
2e niveau de R	C		A 542 grade 1 R 73,5 kg/mm² (Trempé et revenu)

leures caractéristiques à température ambiante et à 450°C, favorable du point de vue économique, ne l'est peut-être pas vis-à-vis des phénomènes de stabilité (1) (2).

Trois nuances d'aciers soudables pour réacteurs à pression ont été étudiées : 10 CD 9-10, 10 CD 12-10, 20 CND 10-10, ce dernier utilisé pour la construction de cuves de réacteurs de synthèse d'ammoniac.

Les deux types de structure : normalisé-revenu traditionnel et trempé-revenu, sont étudiés ici. On examine également le comportement d'une structure trempée faiblement revenue à haute résistance dont, *a priori*, la stabilité pourrait être plus préoccupante.

ACIERS ÉTUDIÉS

Les aciers utilisés pour ce programme d'essais proviennent de coulées industrielles élaborées au four électrique, laminées en tôles épaisses ou forgées en viroles. Le *tableau I* en donne les analyses.

Le *tableau II* résume les conditions de traitements sur coupons d'essais. Nous avons considéré trois états :

— état A : normalisé revenu ;

— état B : trempé fortement revenu ;

— état C : trempé faiblement revenu.

Les vitesses de refroidissement adoptées pour la normalisation et la trempe sont les vitesses de refroidissement industrielles pratiquables sur tôles épaisses ou viroles forgées.

Les températures de revenu sont ajustées pour réaliser au mieux deux niveaux de résistance à la rupture répondant aux spécifications ASTM relatives à la nuance 10 CD 9-10, suivant le *tableau III*.

Les vitesses de refroidissement adoptées après revenu sont des vitesses rapides vis-à-vis de ce que l'on réalise en fabrication, pour éviter toute fragilisation réversible au départ et bien mettre en évidence d'éventuelles différences de cinétique de fragilisation entre les nuances, au cours du maintien ultérieur à 500°C.

EXPÉRIMENTATION

Conditions du vieillissement.

Les températures sont celles qui règnent en service dans les installations : 450-500°C. Des sondages ont été prévus à 550°C, température pouvant être atteinte périodiquement pendant quelques centaines d'heures au cours de la régénération des catalyseurs. Les durées envisagées sont comprises entre 1 000 et 10 000 h.

Le *tableau IV* indique, pour les trois nuances, les domaines de températures et de durées étudiées.

Critères de stabilité.

La stabilité est envisagée sous l'angle de l'évolution des caractéristiques mécaniques, tout particulièrement de la résilience, et sous l'angle des modifications structurales. Chaque état initial (A, B, C), de

TABLEAU IV : Grille des traitements de fragilisation.

Nuance	Coulée	Etats initiaux	Temps	1 000 h			3 000 h		10 000 h
			Temp. (°C)	450	500	550	450	500	500
10 CD 9-10	1 A	×		×	×	×	×	×	×
	2 B	×		×	×	×	×	×	×
	3 C	×		×	×	×	×	×	×
	A	×							×
	4 B	×							×
	C	×							×
10 CD 12-10	A	×		×	×	×		×	×
	5 B	×		×	×	×		×	×
	C	×		×	×	×		×	×
20 CND 10-10	A	×		×	×	×	×	×	×
	9 B	×		×	×	×	×	×	×
	C	×		×	×	×	×	×	×

même que chaque état vieilli est caractérisé par un essai de traction à la température ambiante et par une courbe de transition de la résilience Charpy V. Le glissement de la température de transition θ_{50} permet de chiffrer, au bout d'un temps t de maintien à 450, 500 ou 550°C la fragilisation du métal.

La stabilité de la structure a été appréciée par microscopie électronique, microanalyse et diffraction X sur précipités isolés électrolytiquement ainsi que par microfractographie au Stéréoscan et sur répliques.

RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX

Evolution des caractéristiques mécaniques au cours du vieillissement.

L'ensemble des propriétés de traction et de résilience relatives aux différents états est donné aux *tableaux V, VI* et *VII*.

Traction.

Les effets du vieillissement à 500°C sont schématisés *figure 1*. Ces effets sont peu importants en ce qui concerne la charge de rupture. Cependant, l'état C, faiblement revenu, présente un faible adoucissement, de l'ordre de 5 à 9 % en 10 000 h.

La limite d'élasticité proportionnelle diminue, à tous les états et quelle que soit la nuance, de plusieurs kg/mm² en 10 000 h à 500°C. L'état C n'est pas particulièrement affecté par la chute de E. La courbe de traction présente, à l'état initial, au début de la phase plastique, un décrochement qui disparait après vieillissement (fig. 2).

L'allongement n'est pas modifié, mais la striction est réduite de 10 % en 10 000 h.

Cette relative stabilité des propriétés mécaniques de traction demeure à 450°C et même à 550°C.

Résilience.

Si en traction, les caractéristiques à température ambiante sont stables, il n'en est pas de même de la résilience. Des glissements importants de la température de transiiton θ_{50} vers les températures élevées sont observés (fig. 3).

Le degré de fragilisation est très variable suivant les nuances et les états considérés.

TABLEAU V : Acier 10 CD 9-10. Evolution des caractéristiques de traction et de résilience au cours de maintiens à 450, 500 et 550°C.

Coulée	Etat initial	Traitement de vieillissement	Traction				Résilience			
			E (kg/mm²)	R (kg/mm²)	A (%)	Σ (%)	$K_{CV\ 20}$ (kgm/cm²)	$K_{CV\ max}$ (kgm/cm²)	$\theta_{30/50}$ (°C)	$\Delta\theta_{80}$ (°C)
1		Sans	40,1	56,1	29,7	76,3	12,5	20	28	
		1 000 h à 450°C	33,5	54,5	30,1	72,7	13	> 22	28	0
		3 000 h à 450°C	27,2	53,5	32,0	69,7	6	> 17	39	11
		1 000 h à 500°C	33,4	57,4	29	71,2	5,5	14	52	24
	A	3 000 h à 500°C	36	60	29	72,7	4	> 19,5	49	21
		10 000 h à 500°C	34	56,7	27,5	71,2	5,4	—	61	33
		1 000 h à 550°C	35,2	57,5	29,4	69,7	5,5	> 12	47	19
4		Sans	38,5	58,5	27,9	69,7	5	> 12,5	40	12
		10 000 h à 500°C	36	58,5	29,8	72,7	7	17	55	15
2		Sans	46,7	57,5	32,4	79,2	20,8	21	— 46	
		1 000 h à 450°C	38,5	58	33,1	75,7	19,3	> 20	— 25	21
		3 000 h à 450°C	33,5	58,5	32	74,2	16	16	— 11	35
		1 000 h à 500°C	40,7	59,2	27,3	71,2	11,5	15	8	54
	B	3 000 h à 500°C	38,1	57,1	33,5	75	6,5	> 15	41	87
		10 000 h à 500°C	37,5	57,5	28,6	72,7	6	> 13,5	35	81
		1 000 h à 550°C	34,5	57,5	32,4	77,1	18	21	— 3	43
		Sans	58,5	81,5	21,6	74,2	10	> 10	— 8	
4	B (*)	10 000 h à 500°C	48,7	66,5	26,3	69,7	8,5	10	— 4	4
3		Sans	67,5	78,2	24,2	75,7	17	18	— 91	
		1 000 h à 450°C	64,7	77,1	22,4	76,4	19,5	19,4	— 38	53
		3 000 h à 450°C								
	C	1 000 h à 500°C	64,8	77,5	21,7	75,7	16,5	1	— 18	73
		3 000 h à 500°C	60	74,5	24,3	72,7	8	18	30	121
		10 000 h à 500°C	60	72	25,3	74,2	4,2	> 17	58	149
		1 000 h à 550°C	65,5	77,5	23,1	75,7	16,5	> 16,5	— 6	85
		Sans	70,5	81,5	25,6	59,2	15,5	15,5	— 56	
4		10 000 h à 500°C	63,2	75,2	21,3	64,4	1,4	> 9	102	158

) Ce traitement a été réalisé par erreur entre les points Ac_1 et Ac_3.

' Influence de la structure.

L'état A, riche en ferrite proeutectoïde, est initiament défavorisé par une température de transition evée. Il demeure assez stable au cours du vieillis-ement : θ_{50} s'élève tout au plus de 30°C en 10 000 h 500°C dans les aciers au Cr-Mo (fig. 4). Le comporment particulier du 20 CND 10-10, remarquable par basse température de transition initiale et son insbilité relative (fig. 3 et 4), s'explique par la faible oportion de ferrite libre à l'état A (5 %). Pour cette ance, les structures A et B sont très voisines.

La fragilisation est toujours beaucoup plus rapide à l'état trempé revenu qu'à l'état A. Mais malgré cette fragilisation, les états B et C conservent toujours une température de transition plus basse.

b) Influence de la résistance à la rupture (fig. 5).

Pour une même nuance, l'état C (R = 70-80 kg/mm²) est toujours plus fragilisable que l'état B (R = 53-58 kg/mm²). La différence est parfois faible : la nuance 10 CD 12-10 présente une bonne stabilité relative aussi bien à l'état C (70 kg/mm²) qu'à l'état B

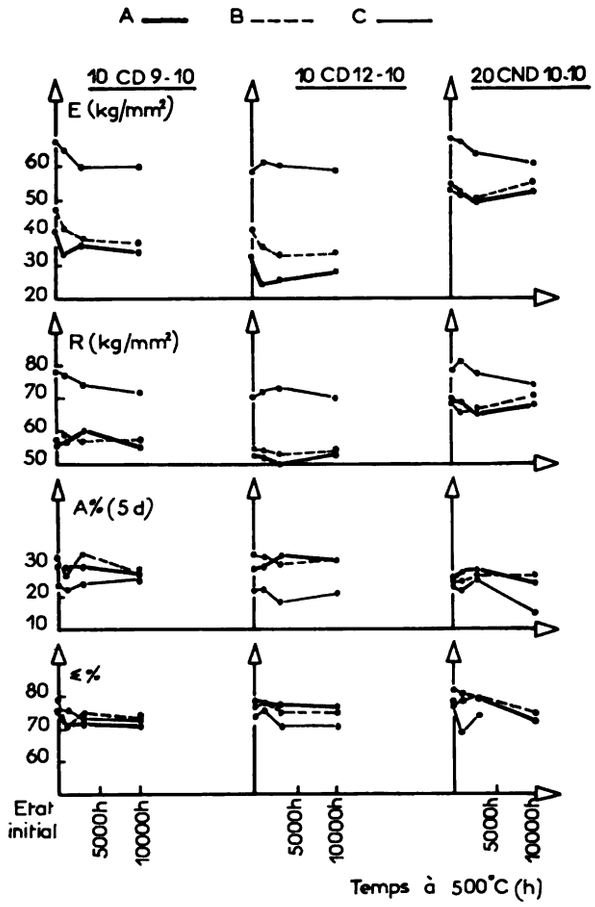


Figure 1. — Influence du vieillissement à 500°C sur les caractéristiques de traction.

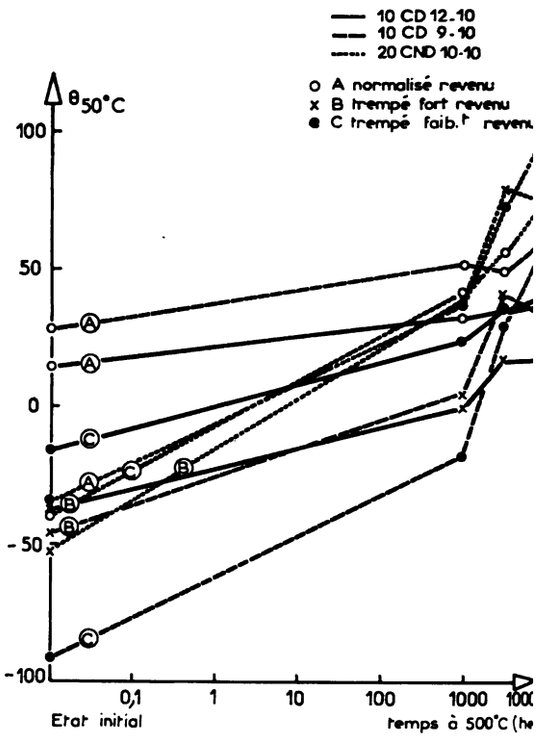


Figure 3. — Fragilisation à 500°C en fonction du temp

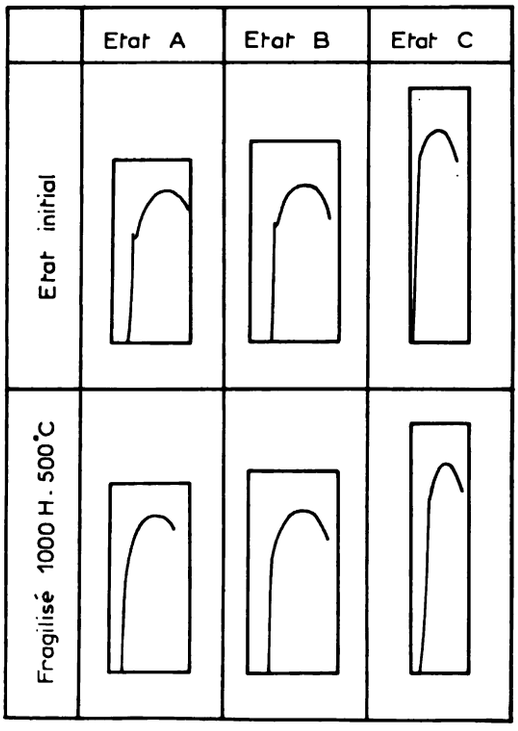


Figure 2. — *Acier 10 CD 9-10.* Courbes de traction.

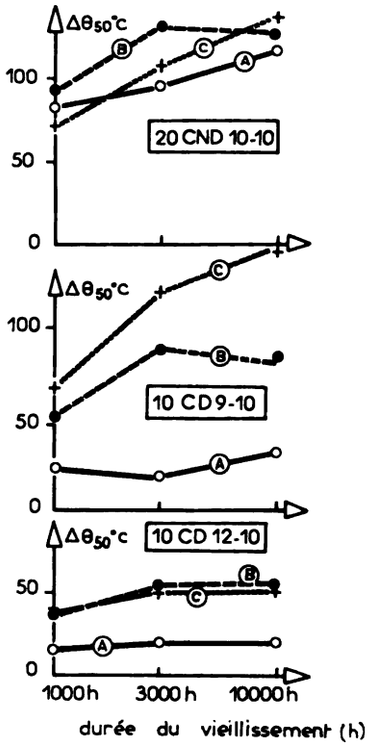


Figure 4. — Augmentation de la température de transitio fonction du temps de maintien à 500°C.

LEAU VI : Acier 10 CD 12-10. Evolution des caractéristiques de traction et de résilience au cours de maintiens à 450, et 550°C.

oulée	Etat initial	Traitement de fragilisation	Traction				Résilience			
			E (kg/mm²)	R (kg/mm²)	A (%)	Σ (%)	$K_{CV\ 20}$ (kgm/cm²)	$K_{CV\ maxi}$ (kgm/cm²)	$\theta_{50/50}$ (°C)	$\Delta\theta_{50}$ (°C)
		Sans	33,5	52,7	28,4	77,1	14,4	20,5	15	
		1 000 h à 450°C	30	50,5	32	75,7	10,3	> 19	28	13
5	A	1 000 h à 500°C	24	52	29,4	78,4	11	> 16	32	17
		3 000 h à 500°C	25,3	50,5	32,4	77,1	7	> 16	35	20
		10 000 h à 500°C	28	53,5	31,6	77,1	8,5	> 17,5	40	25
		1 000 h à 550°C	26	52	32	75,7	5,5	14	28	13
		Sans	41,5	54,5	32,7	78,4	18,3	19	— 37	
		1 000 h à 450°C	38,5	55,3	31,1	79,2	19,1	19,1	— 39	— 2
5	B	1 000 h à 500°C	36	54,1	32	78,4	13,5	17	0	37
		3 000 h à 500°C	33,5	53,5	30,1	75,7	9,4	> 15	17	54
		10 000 h à 500°C	34,5	54	31,6	75,7	8,5	> 15	17	54
		1 000 h à 550°C	34,5	54	32,7	75,2	13,5	> 16	— 3	34
		Sans	58,5	70,5	21,6	74,2	14,3	15,5	— 15	
		1 000 h à 450°C	56	69,5	22	79,2	14,9	15,5	— 17	— 2
5	C	1 000 h à 500°C	61,4	72,1	22	75,7	5,9	15,6	24	39
		3 000 h à 500°C	60	73,5	18,1	71,2	4	> 15,8	36	51
		10 000 h à 500°C	59,2	70,5	21,6	71,2	4	> 13	38	53
		1 000 h à 550°C	60	71,3	23,1	72,7	13	> 13,5	2	17

LEAU VII : Acier 20 CND 10-10. Evolution des caractéristiques de traction et de résilience au cours de maintiens à 450, et 550°C.

oulée	Etat initial	Traitement de fragilisation	Traction				Résilience			
			E (kg/mm²)	R (kg/mm²)	A (%)	Σ (%)	$K_{CV\ 20}$ (kgm/cm²)	$K_{CV\ maxi}$ (kgm/cm²)	$\theta_{50/50}$ (°C)	$\Delta\theta_{50}$ (°C)
		Sans	54	68,6	25,6	81	22,5	22,5	— 40	
		1 000 h à 450°C	48	64	28,7	77,1	6,7	23	62	102
		3 000 h à 450°C	52	68	25,6	77,1	6,4	17	64	104
	A	1 000 h à 500°C	52,1	68,1	27,4	79,8	7	> 18,5	42	82
		3 000 h à 500°C	49,5	64,7	28,5	79,2	3,8	> 19,5	56	96
		10 000 h à 500°C	52,0	68	23,8	72,2	5,4	⩾ 22	78	118
		1 000 h à 550°C	49,5	65,5	27,4	77,1	15	21	6	46
		Sans	52,8	68,8	23,8	77,1	24	25,3	— 52	
		1 000 h à 450°C	52	67,2	28,5	78,4	3,7	24	70	122
		3 000 h à 450°C	54	70,5	24,5	74,2	6,5	20	62	114
9	B	1 000 h à 500°C	50,8	65,5	24,2	78,4	4,5	21	41	93
		3 000 h à 500°C	50,5	64,7	26,4	79,2	5,4	22,2	79	131
		10 000 h à 500°C	54,5	70,0	26,4	74,2	6,5	⩾ 16	76	128
		1 000 h à 550°C	52	67,5	27,2	77,1	24	26,5	2	54
		Sans	68	78,5	23	77,7	23	25	— 35	
		1 000 h à 450°C	73,5	86	23,6	69,7	4,5	15	40	75
		3 000 h à 450°C	69,5	81,5	21,6	72,7	8	16,5	17	52
	C	1 000 h à 500°C	67,5	81,5	21	68,0	5,5	23	37	72
		3 000 h à 500°C	64	77,5	24,9	74,2	3,8	19	73	108
		10 000 h à 500°C	61,5	74,5	15,8	53,6	4,7	> 17,5	102	137
		1 000 h à 550°C	64	77,5	22,7	71,2	11,5	⩾ 21	16	51

Figure 5. — Evolution θ_{50} en fonction du temps de vieillissement pour les troisniveaux de résistance.

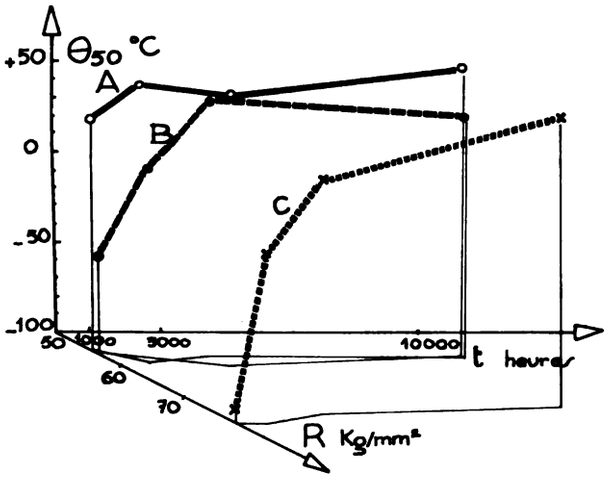


Figure 5 *a*. — Acier 10 CD 9-10.

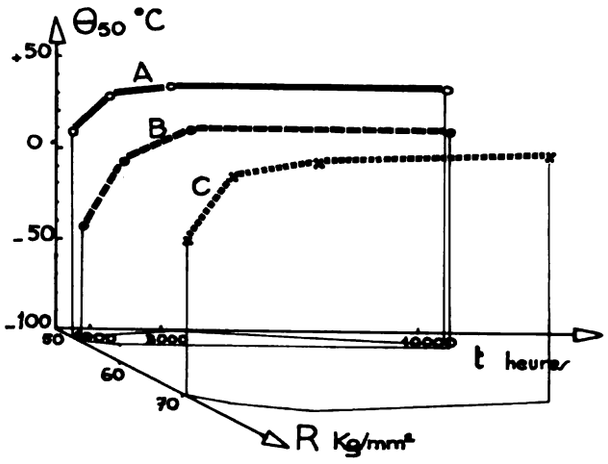


Figure 5 *b*. — Acier 10 CD 12-10.

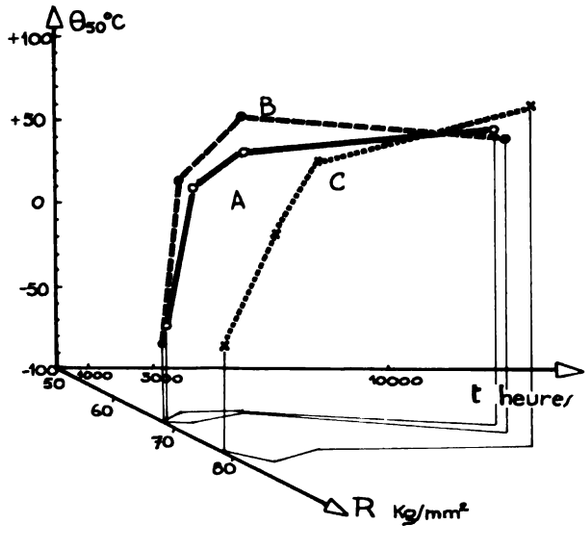


Figure 5 *c*. — Acier 20 CND 10-10.

(55 kg/mm²). Pour l'acier 20 CND 10-10, la fragilisation est importante aux deux états : 130°C à l'état B (68,8 kg/mm²), 140°C à l'état C (78,5 kg/mm²).

Par contre, les états B et C se comportent de manière très différente dans le 10 CD 9-10. Le degré de fragilisation de l'état C (148°C en 10 000 h à 500°C) est l'un des plus importants que l'on ait observé.

c) Influence de la composition de base.

Les diagrammes de la *figure* 5 mettent en évidence la meilleure stabilité dans le temps des nuances Cr-Mo et particulièrement de l'acier 10 CD 12-10.

Si l'on compare, à l'état initial, les nuances à résistance égale, l'acier 20 CND 10-10 bénéficie de basses températures de transition, inférieures de 50°C à celles des aciers au Cr-Mo, sauf en ce qui concerne l'acier 10 CD 9-10 à l'état trempé faiblement revenu (C) dont le comportement est particulier.

Cette caractéristique intéressante de la nuance 20 CND 10-10 se dégrade rapidement au cours du maintien à 500°C, comme on pouvait s'y attendre, connaissant la sensibilité à la fragilisation réversible de cette nuance pour la teneur en impuretés de la coulée étudiée. Le comportement de l'acier 10 CD 9-10 à l'état C est analogue. En revanche, les nuances 10 CD 9-10 (états A et B) et 10 CD 12-10 (états A, B, C), de moins bonnes caractéristiques à l'état initial, bénéficient d'une meilleure stabilité.

d) Influence de la température et de la durée de vieillissement.

Pour les nuances au Cr-Mo, la fragilisation la plus rapide est observée à 500°C. Dans l'acier au Cr-Ni-Mo, le pic de fragilisation est déplacé vers les basses températures, la cinétique la plus rapide étant à 450°C. L'évolution de la température de transition en fonction du logarithme du temps de fragilisation est une courbe qui passe vraisemblablement par un maximum après plusieurs milliers d'heures à 500°C avec

TABLEAU VIII : Evolution de la composition des carbures en 3 000 h à 500°C.

% d'éléments dans les carbures	Etat	10 CD 9-10		10 CD 12-10		20 CND 10-10	
		initial	fragilisé	initial	fragilisé	initial	fragilisé
C	A	7,2	7,0	7,4	6,5	6,9	10,3
	B	9,3	8,9	7,0	6,5	8,4	12,2
	C	8,1	8,1	8,3	6,4	8,2	8,0
Fe	A	39,2	39,7	31,2	28,0	45	38,4
	B	33,5	29,2	47,8	35,9	44,2	41,4
	C	35,6	26,2	27,1	16,0	51,8	47,6
Mn	A	5,9	4,5	5,5	4,3	3,9	6,4
	B	3,5	4,5	4,2	3,9	4,5	5,8
	C	8,5	8,2	5,4	4,1	4,5	7,1
Cr	A	32,3	29,0	35,5	41,6	40,3	39,2
	B	41,2	38,0	31,8	39,0	40,3	37,3
	C	30,0	29,5	36,6	42,5	33,0	32,8
Mo	A	15,4	19,8	20,2	19,4	3,9	5,6
	B	12,6	19,4	9,0	14,6	2,5	4,4
	C	18,0	28,3	22,4	31,0	2,5	4,6

évolution très lente. L'allure de la courbe laisse penser qu'au bout de durées supérieures à 10 000 h, on peut « défragiliser ».

Evolution structurale au cours du vieillissement.

A l'état normalisé coexistent ferrite proeutectoïde et bainite. La proportion de ferrite est de l'ordre de 30 % dans les aciers au Cr-Mo et de 5 % dans le 20 CND 10-10. Les grains de ferrite sont, après revenu, le siège d'une précipitation uniformément dispersée de carbure de molybdène du type M_2X [(Cr, Mo) 2 (C, N) de paramètres a = 2,884 Kx et c = 4,561 Kx; c/a = 1,578] sous forme de fines plaquettes géométriques ou d'aiguilles (fig. 6 a, 7 a et 8 a).

Dans les nuances au Cr-Mo, la ferrite polygonale est auréolée de bandes eutectoïdes où le carbure de molybdène prend des formes caractéristiques de fibres minces et longues. Les zones bainitiques sont riches en précipités de cémentite et de carbures complexes, avec localisation le long des joints.

Après 10 000 h à 500°C, aucune modification importante n'intervient.

A l'état trempé, la structure est mixte : bainite fine et martensite. La grosseur du grain austénitique est évaluée à 6 ASTM pour le 10 CD 9-10, 6-7 pour le 10 CD 12-10 et 5-6 pour le 20 CND 10-10.

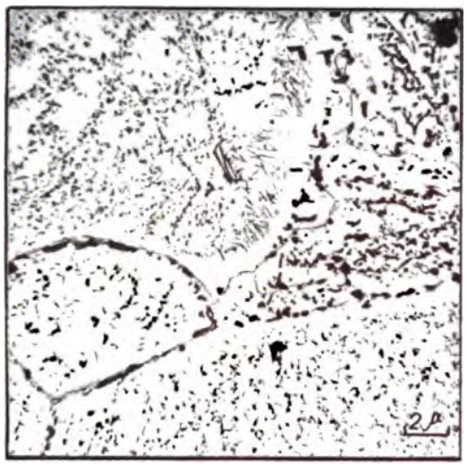
A l'état C, il précipite des carbures orientés suivant la structure aciculaire. Les joints d'austénite primitive sont pavés de gros carbures. La précipitation n'évolue pas pendant le maintien de 10 000 h à 500°C.

A l'état B, le revenu provoque une très nette coalescence des carbures par rapport à l'état C. Les deux nuances au Cr-Mo se distinguent par la rapidité de cette coalescence. La structure reste identique après maintien de 10 000 h à 500°C.

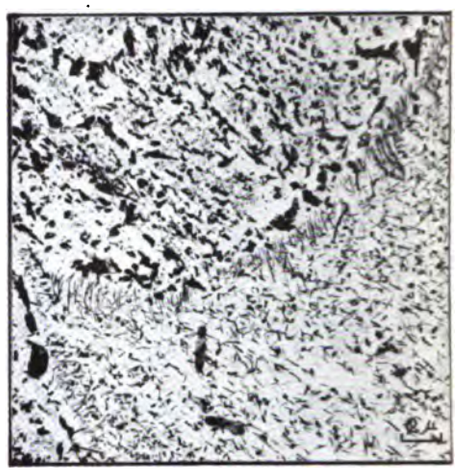
Au bout de 3 000 h à 500°C, les variations de composition des carbures apparaissent très faibles (tabl. VIII) en ce qui concerne les teneurs en Fe, Cr

Etat initial | 10 000 h à 500°C

A

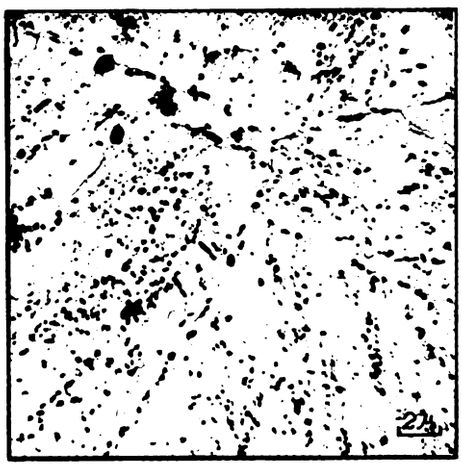


a

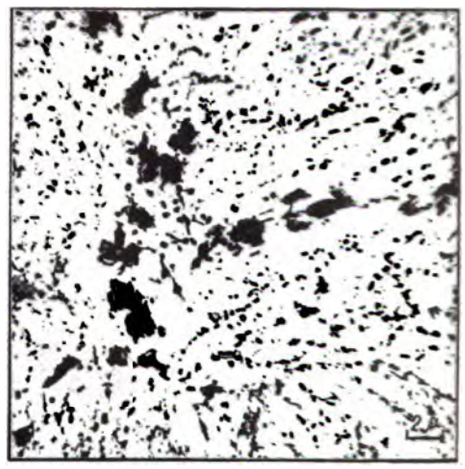


d

B



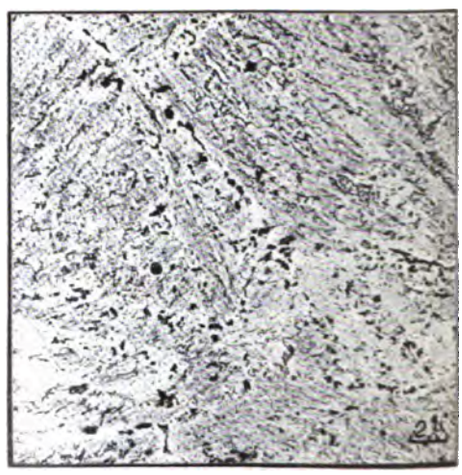
b



e

C

c



f

Figure 6. — Microstructures d'un acier 10 CD 9-10.

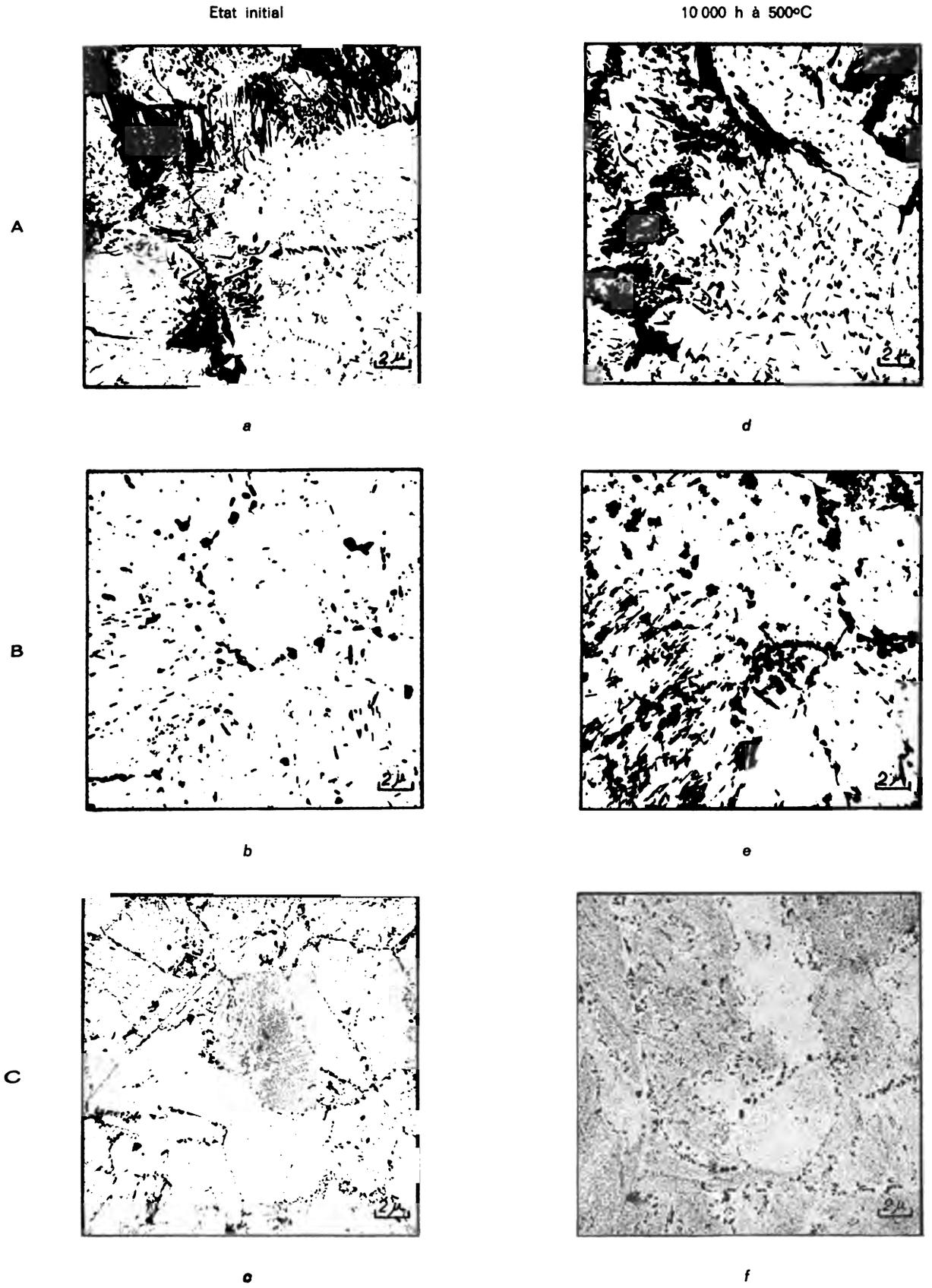


Figure 7. — Microstructures d'un acier 10 CD 12-10.

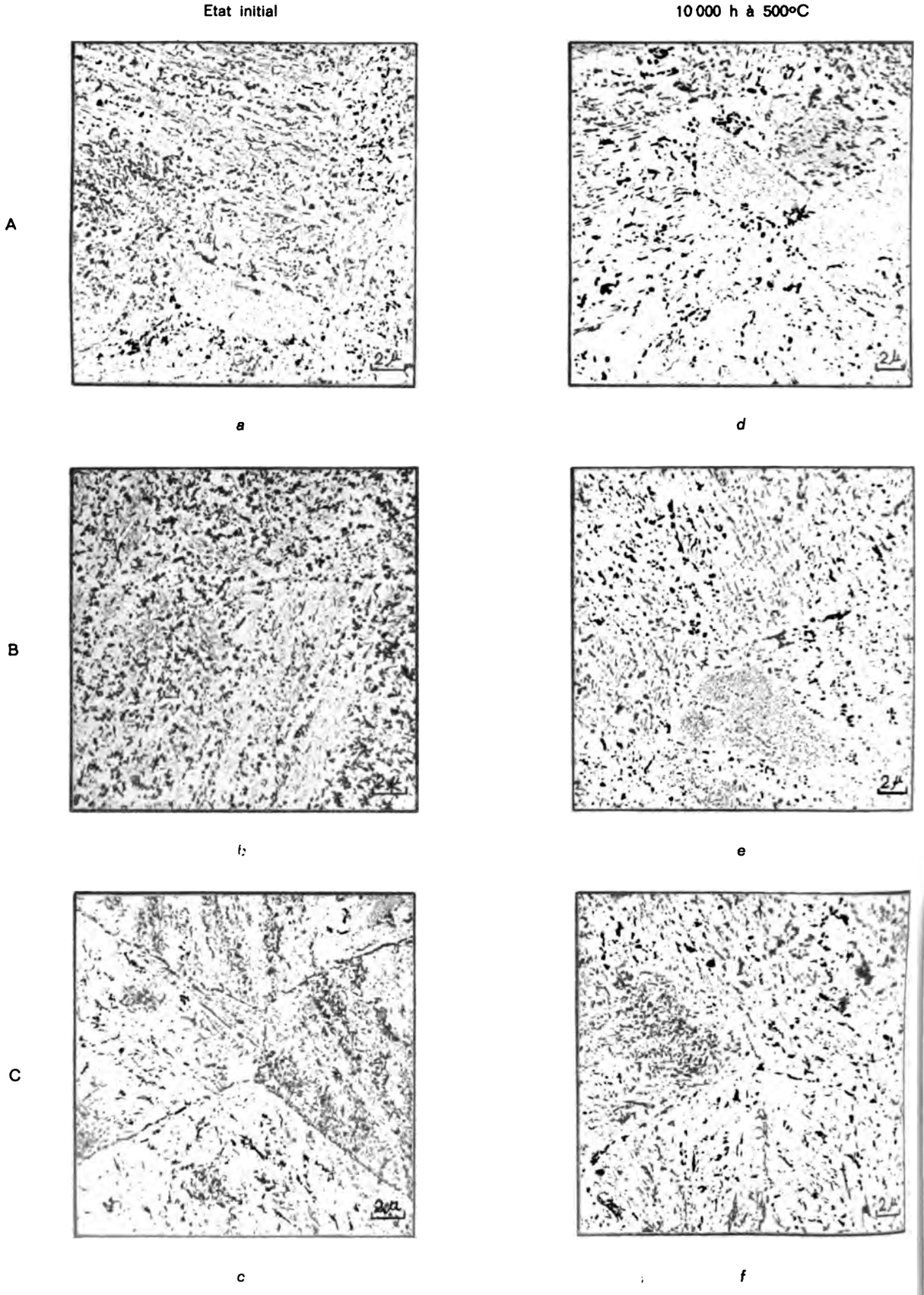
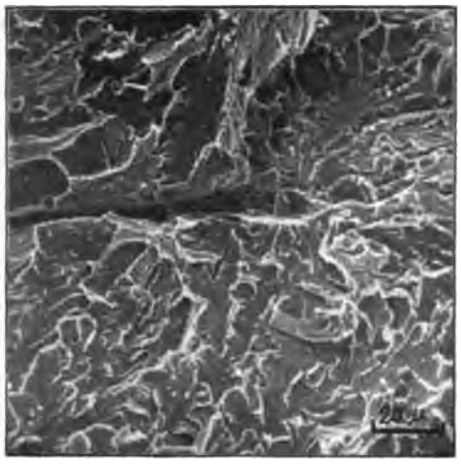


Figure 8. — Microstructures d'un acier 20 CND 10-10.

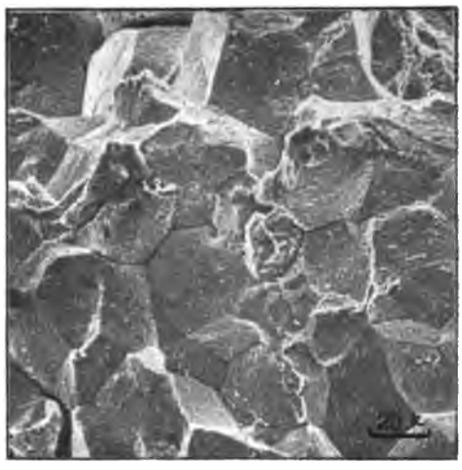
Figure 9. — Evolution du mode de rupture dans le domaine fragile avec le vieillissement.

Etat C initial.
Rupture transgranulaire.

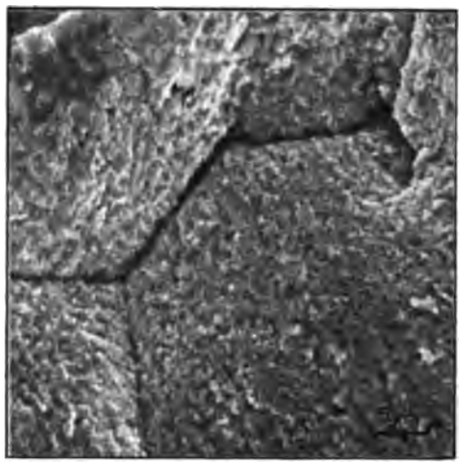


a

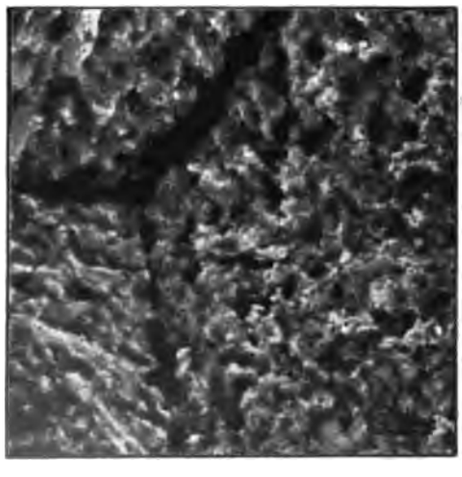
Etat C : 1 000 h à 500°C.
Rupture intergranulaire fragile.



b



c



d

: Mn. On note cependant un certain enrichissement ı molybdène. Si les teneurs en chrome des carbures es trois nuances sont très voisines, les carbures de acier 20 CND 10-10 sont évidemment moins riches ı cet élément.

Aucun changement n'intervient après 3 000 h à 00°C dans la forme cristallographique des carbures, i dans les proportions respectives de chacun d'eux.

volution dans le mode de rupture après vieillissement à 500°C.

A l'état initial, la rupture se fait toujours par cliages (fig. 9 a). Au fur et à mesure du vieillissement 500°C, la rupture, toujours fragile, devient progresvement intergranulaire (fig. 9 b, 9 c et 9 d). Ce faciès e retrouve, à des degrés divers sur les trois nuances, ıujours en bonne corrélation, avec le taux de fragiation. L'acier 10 CD 12-10, par exemple, très stable, onserve un faciès de rupture essentiellement en cliages. Au contraire dans la nuance 20 CND 10-10, ont la fragilisation est importante, la rupture est totament intergranulaire après 10 000 h à 500°C.

Un classement par structure peut aussi être étali : les états riches en ferrite polygonale présentent ne proportion de ruptures intergranulaires plus failes.

Le phénomène de fragilisation mis en évidence 'accompagne donc d'un affaiblissement de la cohéion des grains d'austénite primitive.

Le Stéréoscan met en évidence, sur la surface des ints, un microrelief très caractéristique qui ne traıit pas seulement la présence de carbures intergraılaires mais, semble-t-il, une sorte d'arrachement

affectant une profondeur non négligeable et qui s'accentue avec le temps.

DISCUSSION

Le vieillissement des trois nuances est caractérisé par une bonne stabilité des caractéristiques de traction. Le fait que la résistance à la traction soit peu modifiée par un maintien prolongé à 500°C est prévisible. En effet, la diffusion des éléments carburigènes pendant le maintien à 500°C est négligeable vis-à-vis de celle qui s'est produite pendant le revenu proprement dit, et nous avons observé une bonne stabilité des carbures précipités.

La baisse de limite d'élasticité proportionnelle doit être interprétée avec prudence. Elle résulte de la modification de l'allure de la courbe au début de la phase plastique. Le phénomène de chute brusque de contrainte, dû à la formation de bandes de Piobert-Lüders, bien connu dans les aciers doux, disparait après le vieillissement. On peut penser que cette particularité de la courbe de traction traduit une modification dans les interactions dislocations-impuretés suivant l'état auquel se trouvent ces dernières.

Le vieillissement des trois nuances se manifeste donc uniquement sur la résilience par un relèvement de la température de transition et par l'apparition de zones fragiles aux joints des grains de l'austénite primitive. Cela permet de faire le parallèle avec la fragilité de revenu réversible, bien connue dans les aciers alliés.

L'aspect granuleux des joints de grains après fragilisation au revenu a été mis en évidence par G. Henry (4) et H. de Leiris (5).

Il est très différent de l'aspect des joints dans d'autres types de fragilisation intergranulaire, par l'hydrogène par exemple ou par corrosion sous tension. Il n'a pas été possible, par la microfractographie, de mettre en évidence des précipités autres que les carbures intergranulaires existant initialement. La stabilité microstructurale de la nuance 10 CD 9-10 en 400 h à 455°C et en 1950 h à 497°C a été également signalée par L.I. Mandich (12).

La cinétique de fragilisation à 500°C, très rapide dans les 1 000 premières heures, se ralentit entre 1 000 et 3 000 h, atteint une limite vers 10 000 h. Parfois même θ_{50} décroit légèrement au bout de ce temps, comme en présence d'un « survieillissement ». Il semble que la limite atteinte caractérise la coulée.

En ce qui concerne l'influence de la structure initiale, nos observations sont en accord avec celles de nombreux auteurs. L'acier est plus sensible à la fragilité de revenu dans l'état martensitique que dans l'état bainitique et il est encore moins fragilisable à l'état ferrite-bainite (6) (7) (8). Comme avant fragilisation, la température de transition est plus basse pour la martensite revenue que pour la bainite, à résistance égale, les écarts s'atténuent en fonction de la durée du vieillissement à 500°C.

L'effet du degré de revenu d'une même structure a déjà été mis en évidence dans les aciers pour rotors (6). Woodfine (6) observe également, dans un acier à 3 % Ni-1 % Cr, une susceptibilité à la fragilisation plus importante après un revenu de 1 h à 650°C qu'après 50 h à 650°C .

Si l'on ne considère que les coulées industrielles, il apparait un degré croissant de susceptibilité à la fragilisation entre les nuances 10 CD 12-10, 10 CD 9-10 et 20 CND 10-10.

Il est bien connu que l'association des éléments d'alliage Ni-Cr-Mn favorise le développement de la fragilisation réversible pour un même taux d'impuretés (9).

On pourrait y voir là l'une des raisons de la moins bonne stabilité du 20 CND 10-10. Il faut noter cependant qu'à résistance égale, cette nuance ne se détériore pas plus vite que l'acier 10 CD 9-10 (état C) et il faut voir là surtout l'influence de la résistance.

L'influence défavorable du carbone, signalée par quelques auteurs (10) (11) pourrait expliquer la fragilisation importante de la coulée de 20 CND 10-10.

Quant au rôle du molybdène, il est généralement admis qu'une teneur inférieure à 0,3 % est bénéfique. Au-delà de cette teneur, le molybdène devient un fragilisant.

La fragilité de revenu réversible, spécifique des seuls aciers alliés ou faiblement alliés, ne se manifeste qu'en présence de certaines impuretés métalliques ou métalloïdiques qui sont, par ordre d'importance décroissante : Sb, P, Sn, As. Les différences de teneurs en impuretés des coulées étudiées ici ne peuvent expliquer les différences de comportement entre nuances.

Enfin, la taille du grain austénitique est comparable d'une coulée à l'autre et ne peut donc être reliée au taux de fragilisation.

La fragilisation des nuances 20 CND 10-10, 10 CD 9-10, 10 CD 12-10 présente donc bien tous les caractères de la fragilité réversible de revenu, bien que nous n'ayions pas cherché à vérifier, dans nos expériences, la réversibilité.

CONCLUSIONS

Bien que bénéficiant d'une bonne stabilité de leurs caractéristiques de traction au cours de maintiens de plusieurs milliers d'heures dans le domaine 450-550°C, les trois aciers étudiés sont sujets à une détérioration de la résilience.

Ils se classent, par degré de susceptibilité croissante à la fragilisation, dans l'ordre suivant : 10 CD

12-10, 10 CD 9-10, 20 CND 10-10. Il faut toutefois émettre des réserves sur ce classement par nuances, valable seulement pour le taux d'impuretés considéré.

L'état normalisé revenu reste l'état le plus stable, mais il présente au départ l'inconvénient de températures de transition élevées.

En dépit de leur taux de fragilisation élevé, les structures de trempe-revenu conservent après des maintiens de plusieurs milliers d'heures une température de transition plus basse que celle des structures normalisées. Cependant, si le revenu est faible, de manière à obtenir des caractéristiques de traction élevées, la transition de la résilience, après vieillissement peut être pénalisée de 20 à 30°C.

La fragilisation dans le domaine 450-550°C favorise la rupture intergranulaire aux joints d'austénite primitive. Elle présente une grande analogie avec la fragilité réversible de revenu qui se développe dans les aciers utilisés au cours de maintiens à ces températures ou pendant les refroidissements lents dans ce domaine. Il est bien connu que ce type de fragilisation dépend étroitement des éléments d'alliage d'une part et du taux d'impuretés (y compris le carbone) d'autre part.

Il est vraisemblable que le métal traité industriellement, c'est-à-dire ayant subi un refroidissement lent, de l'ordre de 30°C/h après revenu, présentera une meilleure stabilité apparente, une partie de la fragilisation se développant au cours du refroidissement.

bibliographie

1 PENSE (A.W.), STOUT (R.D.). — Characterisation of heat treated pressure vessel steels for elevated temperature service. Symposium on heat treated steels for elevated temperature service. ASME (septembre 1966).

2 BROWN (R.M.), REGE (R.A.), SPAEDER Jr. (C.E.). — The properties of normalized and tempered and of quenched and tempered 6 1/4 inch thick plates of 2 1/4 Cr 1 Mo steel. Symposium on heat treated steels for elevated temperature service, ASME (septembre 1966).

3 TOITOT (M.), DOR (P.). — Equivalence d'effet du temps et de la température sur les phénomènes de diffusion. Détermination des temps de maintien équivalents. *Mém. Sci. Rev. Métallurg.*, 63, n° 12 (décembre 1966), 1013-1016.

4 HENRY (G.), RŒSCH (L.). — Applications pratiques de la micrographie (Publication IRSID-ATS (29 mai 1969).

5 MENCARELLI (E.), LEIRIS (L. de). — Caractères microfractographiques de la fragilité de revenu réversible des aciers. *C.R. Ac. Sciences Paris*, t. 263 (juillet 1966), 113-116.

6 COMON (J.), MARTIN (P.F.), BASTIEN (P.). — Statistical study of factors influencing impart strength of turbine generator rotors. *ASTM*, STP 407, 74.

6 *bis* WOODFINE. — Some aspects of temper brittleness. *J. Iron Steel Inst.* (1953), 240-255.

7 JAFFE. — Fragilité de revenu des aciers pour capacités sous pression. *Welding Research Supplement* (1955), 141-150.

8 CAPUS. — The mecanism of temper brittleness. *ASTM* STP 407 (1968), 127-167.

9 MAC MAHON. — Temper brittleness. An interpretative review. *ASTM*, STP 407 (1968), 127-167.

10 LOW, STEIN, TURKALO, LAFORCE. — Alloy and impurity effects on temper brittleness of steel. *Transactions of the Metallurgical Society of AIME*, vol. 242 (1968), 14-24.

11 SCHMIDTMANN (E.), CHITIL (M.). — Untersuchungen zur reversiblen Anlaßsprödigkeit. *Arch. für das Eisenhüttenwesen*, 41, n° 2 (février 1970), 165-171.

12 MANDICH (L.I.), FOGLEMAN (E.L.), GULYA (J.A.). — Elevated temperature properties of heavy gauge Cr-Mo steels plates. ASME, Symposium on heat treated steels for elevated temperature service (1966), 45.

discussion

M. de LAVAREILLE (Marrel Frères - Rive-de-Gier) - La vitesse de 1 700°C/h indiquée au *tableau II* correspond-elle à une vitesse de trempe ou une vitesse de refroidissement après revenu ?

Mme PALMIER - Il s'agit de la vitesse de refroidissement après revenu.

M. MEDAWAR (Thyssen Röhrenwerke AG, Düsseldorf) - Avez-vous fait des études analogues (fragilisation due au vieillissement) sur des aciers contenant du vanadium ?

Quelques auteurs soulignent que ces aciers, après avoir atteint une fragilisation maximale au bout d'une certaine durée de service se régénèrent à nouveau, c'est-à-dire qu'ils redeviennent résilients.

Mme PALMIER - Nous n'avons pas fait de traitement d'aussi longue durée sur les aciers au vanadium.

M. ROESCH (IRSID, Saint-Germain-en-Laye) - Vous avez rapproché la fragilisation due à un séjour prolongé à haute température de la fragilité de revenu. Peut-on, comme dans ce dernier cas, régénérer le métal par un traitement thermique et donc éliminer cette fragilité ?

Mme PALMIER - Des essais de régénération sont en cours sur les trois nuances. Quelques résultats partiels sur l'acier 20 CND 10-10 permettent de penser que cette nuance est effectivement régénérable par simple chauffage à la température du revenu métallurgique et refroidissement rapide.

Délégation générale à la recherche scientifique et technique

Rapports des résultats des recherches menées sous contrats d'action concertée

Les rapports qui sont signalés dans cette rubrique peuvent être consultés à la bibliothèque du Centre de Documentation du CNRS, 26, rue Boyer, Paris-20e.

Le Centre de Documentation du CNRS assure aussi, à la demande, la reproduction des rapports soit sous forme de micro-fiches au prix de 3 F + TVA par micro-fiche (chaque micro-fiche contient jusqu'à 20 pages de texte), soit sous forme de photocopie au prix de 10 F + TVA par article de 10 pages et 7 F + TVA par fraction supplémentaire de 10 pages.

Paiement au CCP 9.131.62 ou par chèque bancaire établi au nom du Centre de Documentation du CNRS.

Métallurgie.

GOURCUFF (F.), MARANDET (B.).

Etude de la fragilisation par l'hydrogène cathodique d'aciers à hautes caractéristiques.

Contrat n° 67 00 981, 1970, 30 × 21,5, pag. multiple (89 p.).

Recherche en vue de définir des structures d'aciers faiblement alliés (35 NCD 16, 40 CDV 20, Maraging 18 Ni, X 16 D3). Propriétés mécaniques, traitements thermiques. Corrélation entre contrainte de non rupture en 100 h et la sensibilité à l'entaille, la résilience et la résistance à la traction sur éprouvettes lisses.

DEGOIS (M.), MAQUAIRE (J.P.). — Centre de Recherches de Pont-à-Mousson, 54 - Maidières-les-Pont-à-Mousson.

Contribution à l'étude du mécanisme de solidification de la fonte à graphite sphéroïdal.

Contrat n° 69 01 653, mai 1971, 29,5 × 21, 45 p., bibl. (10 réf.).

Etude des variations de volume à l'aide de rétractomètres. Effet de la vitesse de refroidissement, du matériau de moulage, de la nature de la fonte (analyse et forme du graphite).

GRAF (R.), RAYNAL (J.M.). — Faculté des Sciences de Rouen, 76 - Mont-Saint-Aignan.

Etude comparée par diffusion centrale de rayons X et des neutrons, des phénomènes de précipitation dans divers alliages.

Contrat n° 70 02 206, 1971, 30 × 21, 12 p., 6 pl. h.t., bibl. (5 réf.).

Al-Zn (8 à 30 % Zn) trempés et vieillis à la température ambiante. Allure des couches de diffusion ; corrections diverses. Calcul de l'intensité totale intégrée Q_0. Théorie sur la variation du réseau dans les zones pouvant expliquer les différences obtenues sur Q_0. Interprétation par le modèle à 2 phases. Comparaison des principaux paramètres obtenus à l'aide de ces 2 méthodes. Avantage des neutrons géométrie quasi-ponctuelle. Facteur de forme. Notion d'ordre dans la distribution des précipités. Alliage Al-Zn-Hg. Effet de Mg.

étude statistique de certaines propriétés des rotors de turbines travaillant à chaud

M. Fondeviole, R. Boulisset, J. Comon
Creusot-Loire (Le Creusot)

U. Schieferstein
Kraftwerk Union AG (Mülheim)

Communication présentée simultanément aux 11èmes Journées des Aciers Spéciaux, à Saint-Etienne, 4-5 mai 1972 et à la Conférence Internationale "Propriétés des aciers résistants à chaud", à Düsseldorf, 3-5 mai 1972.

L'analyse statistique d'un grand nombre d'essais de fluage (rupture et allongement 1 %), effectués en Grande-Bretagne, en Allemagne et en France sur des échantillons issus de rotors en acier à 1 % Cr-Mo-V, permet de mettre en évidence et de chiffrer l'influence de trois facteurs importants régissant les propriétés de fluage de ce type d'acier. Ces facteurs sont la résistance à la température ambiante, la structure (caractérisée par l'indice de trempe) et les conditions d'essais (température et temps). Il apparait qu'une structure peu trempée possède de bonnes propriétés de fluage, mais qu'il convient néanmoins d'éviter la formation de ferrite libre qui, en faisant baisser la résistance à la température ambiante, dégrade la résistance au fluage. Par ailleurs, un indice de trempe élevé (c'est-à-dire une structure très trempée) est à rechercher si l'on désire obtenir une basse température de transition de la résilience.

Le modèle mathématique et les équations établies facilitent la recherche des conditions optimales de composition chimique et de traitement thermique qui sont à ajuster en fonction du diamètre du rotor et des différentes propriétés visées.

INTRODUCTION

Les aciéristes et les constructeurs de turbines sont généralement d'accord : deux propriétés principales des rotors de turbines en acier à 1 % Cr-Mo-V doivent être améliorées par le biais des éléments d'alliage et des conditions de fabrication : leurs caractéristiques de rupture et d'allongement par fluage d'une part, leurs propriétés vis-à-vis de la rupture fragile d'autre part. Cependant, leurs opinions sont moins unanimes en ce qui concerne l'importance relative qu'il faut accorder au fluage et à la fragilité. De plus, le choix des moyens à mettre en œuvre pour améliorer ces propriétés prête à discussion, car certains facteurs ont une influence favorable à certains points de vue et défavorable à d'autres. Ces influences contradictoires ont pour résultat que chacun adopte un compromis qui lui parait le meilleur pour une application donnée, mais tous n'ont pas la même conception de cet optimum.

L'objet de ce travail est de proposer une règle en accord avec les lois généralement admises pour les propriétés de fluage et de fragilité des matériaux en cause. Des modèles mathématiques sont proposés qui permettent de raisonner quantitativement, alors que jusqu'à présent on restait sur le plan qualitatif.

L'idée fondamentale est la suivante : les propriétés de fluage dépendent essentiellement de 3 facteurs :

— l'indice de trempe (τ),

— la résistance à la température ambiante R_{20}

— un paramètre temps-température 1/P dont les constantes sont ajustées en fonction de l'analyse de mesures réelles de fluage de longue durée.

Le comportement fragile, caractérisé par la température de transition (FATT, NDTT), devrait être en relation étroite avec les deux premiers facteurs, τ et R_{20}. Cependant, il faut bien noter que chacun de ces trois facteurs est lui-même une fonction de plusieurs autres variables. On peut envisager d'introduire dans le modèle proposé des variables supplémentaires dans la mesure où des données nouvelles le permettent.

DÉFINITIONS

Les trois facteurs ci-dessus se définissent comme suit :

Indice de trempe τ

C'est le logarithme du rapport entre :

— la vitesse de refroidissement V_T lors de la trempe,

— la vitesse critique de trempe V_2 qui est définie par la composition chimique de l'acier :

$$\tau = \log \frac{V_T}{V_2}$$

Les deux vitesses de refroidissement sont les vitesses moyennes dans l'intervalle 750-650°C. Cette définition est plus facilement interprétée si l'on se réfère à la *figure 1* : l'indice caractérise la marge qui existe entre le refroidissement réalisé et celui qui provoquerait un début de transformation dans le domaine supérieur. Il est positif pour les structures bainitiques, nul si la courbe de refroidissement effleure le « nez » de la zone de la ferrite, et négatif si la structure contient de la ferrite libre. Le calcul de τ pour un prélèvement donné exige donc de connaitre la vitesse de refroidissement réalisée lors de la trempe correspondante. La première, V_T, est évaluée à l'aide de la *figure 2*. Les courbes données et les points correspondant à des mesures réelles sont en bon

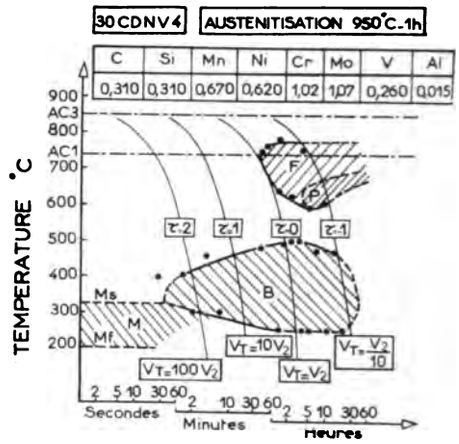


Figure 1.

accord avec ceux cités par Bandel et Haumer (1) (2). Il faut cependant reconnaitre que cette évaluation de V_T est certainement entachée d'une certaine imprécision.

La vitesse critique V_2 est déterminée par l'équation ci-dessous, qui résulte d'une analyse statistique générale effectuée par le Laboratoire Central du Creusot ; cette analyse a été publiée par ailleurs (3) (4) :

$$\log V_2\,(°C/h) = 10{,}17 - 3{,}8\,C\,\% - 1{,}07\,Mn\,\% - 0{,}7\,Ni\,\% - 0{,}57\,Cr\,\% - 1{,}58\,Mo\,\% - 0{,}0032\,P_a\,(°C/1\,h) \quad [1]$$

Le terme P_a, paramètre d'austénitisation, est fonction du temps et de la température. Il caractérise les

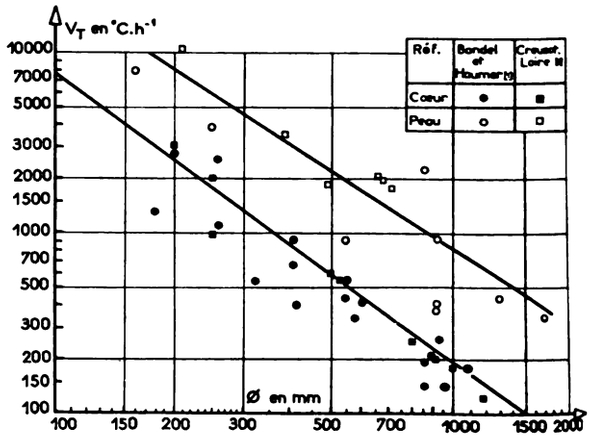


Figure 2. — Vitesse de refroidissement à 700°C en fonction du diamètre (trempe à l'huile et au brouillard soufflé).

conditions d'austénitisation et est explicité en annexe (5). On montre que, pour les rotors considérés, ce terme varie peu ; aussi proposons-nous de donner à P_0 une valeur unique (1 015°C, 1 h), correspondant à une austénitisation standard de 10 h à 950°C. Ceci permet d'utiliser, pour le calcul de log V_2, l'équation simplifiée suivante :

$$\log V_2\,(°C/h) = 6{,}92 - 3{,}8\ C\ \% - 1{,}07\ Mn\ \% - 0{,}7\ Ni\ \% - 0{,}57\ Cr\ \% - 1{,}58\ Mo\ \% \qquad [2]$$

L'indice de trempe, qui caractérise la structure, est donc une fonction de la composition chimique et du traitement thermique.

Paramètre temps-température 1/P.

Il est choisi pour caractériser les conditions de chaque essai de fluage et est déduit des lois de la diffusion (lois de Fick) :

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{T} - \frac{n\,R}{\Delta H} \log \frac{t}{t_0} \quad \text{(fig. 3)}$$

Certes, adopter d'emblée le principe d'une équivalence entre le temps et la température prête à discussion. Il faut préciser cependant qu'il ne s'agit ici que d'utiliser un outil de travail commode, suffisamment précis pour être utile dans le cadre de cette étude, compte tenu de la faible variation de la température d'essai (tabl. I et II). De plus, cette équivalence n'est utilisée que dans un but de description et de corrélation des résultats d'essais et non pour l'extrapolation. En conséquence, ΔH qui a les dimensions d'une énergie d'activation a été déduite du meilleur lissage pour les intervalles de températures et de temps couverts par les données expérimentales existantes. La valeur de ΔH = 90 000 cal-mole est donc l'énergie d'activation « apparente » pour les phénomènes de fluage considérés. Le graphique de la *figure 3* permet de déterminer facilement 1/P en fonction du temps et de la température d'essai. On remarquera que 1/P est d'autant plus faible que le temps est plus long et la température plus élevée.

Ces précisions étant fournies, examinons les dépouillements effectués sur les propriétés de fluage et sur la température de transition.

Résistance à la traction R_{20}.

Elle est mesurée à la température ambiante. Il s'agit donc d'un facteur dépendant de la composition chimique, des conditions de trempe et des conditions de revenu. En principe, c'est la résistance mesurée avant l'essai de fluage. Cependant, il est apparu nécessaire, au moins dans certains cas, d'apporter à cette mesure une correction pour tenir compte de l'adoucissement se produisant parfois au cours de l'essai de fluage, spécialement dans le cas d'essais de longue durée ou à haute température.

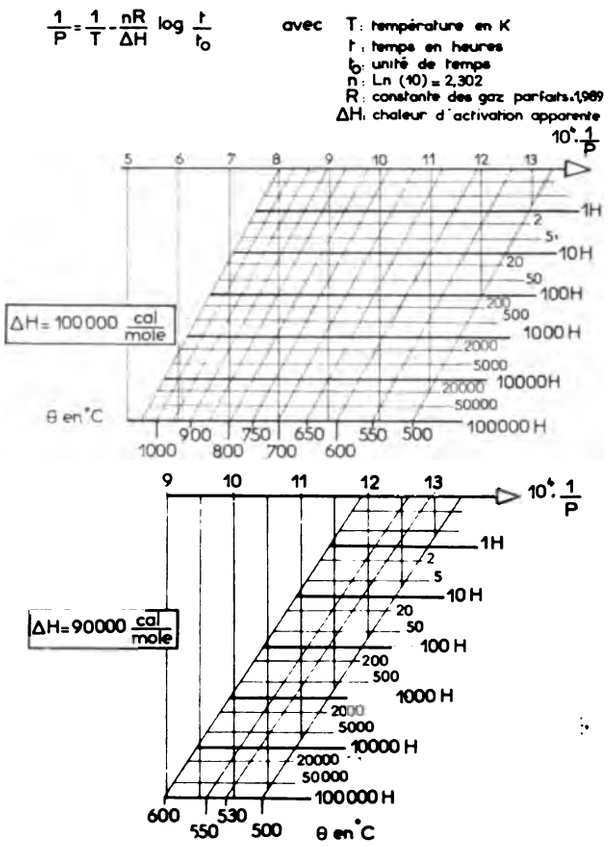


Figure 3.

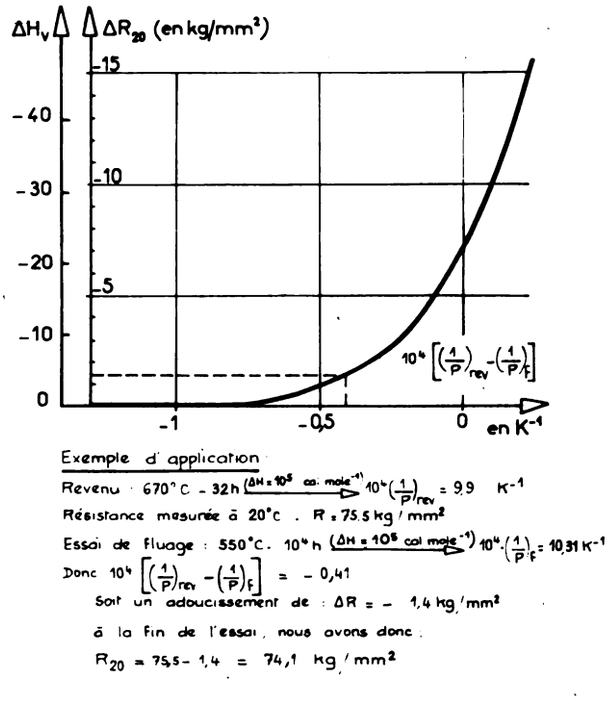


Figure 4.

TABLEAU I.

σ_R	Nombre de rotors	Nombre d'essais		Nombre d'essais à :							Total
		en peau	à cœur	500°C	530°C	550°C	560°C	575°C	600°C	650°C	
F	26	232	50	4	—	160	—	31	81	6	282
D	15	72	77	42	51	47	9	—	—	—	149
G.B.	8	20	6	—	—	26	—	—	—	—	26
Total	47	324	133	46	51	233	9	31	81	6	457

TABLEAU II.

$\sigma_{1\%}$	Nombre de rotors	Nombre d'essais		Nombre d'essais à :							Total
		en peau	à cœur	500°C	530°C	550°C	560°C	575°C	600°C	650°C	
F	25	91	25	—	—	102	—	—	14	—	116
D	9	43	61	34	29	36	5	—	—	—	104
G.B.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	34	134	86	34	29	138	5	—	14	—	220

Cet adoucissement est régi par le temps et la température de l'essai de fluage, mais dépend également des conditions du revenu métallurgique effectuée sur le rotor. La valeur de ΔH retenue pour ce phénomène est de 100 000 cal-mole^{-1}. Le calcul de la correction se fait au moyen du graphique de la *figure 4*, établi à la suite de calculs confirmés par des mesures de dureté.

ÉTUDE DES PROPRIÉTÉS DE FLUAGE

Les essais de fluage utilisés pour ce travail sont issus de trois dossiers différents :

— un dossier d'essais effectués en Grande-Bretagne sous l'égide de l'Electrical Research Association et publié en 1965 (6) ;

— un dossier d'essais effectués en Allemagne dans le cadre de l'Arbeitsgemeinschäft für Warmfeste Stähle (7) et par Kraftwerk Union (8) ;

— un dossier d'essais effectués en France par le Laboratoire du Creusot, avec l'aide du Laboratoire de fluage de la Direction de l'Equipement d'Electricité de France.

Ces essais portent donc sur une vaste population de rotors fabriqués en Grande-Bretagne, en Allemagne et en France, et ils ont été effectués dans six laboratoires différents au moins.

Le *tableau III* recensant les fourchettes de composition et de caractéristiques mécaniques des rotors examinés, montre que nous possédons essentiellement quatre types de composition suivant les teneurs en carbone, en nickel ou en molybdène.

TABLEAU III.

Rotors d'origine	Type de composition	Nombre de rotors	Fourchettes de composition							Fourchettes relatives à :						
			C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	V	Austénitisation	Revenu	V_s (°C/h)	V_T (°C/h)	τ	R (kg/mm²)	E (kg/mm²)
Française	I	8	0,21 à 0,27	0,27 à 0,41	0,57 à 0,74	0,10 à 0,39	0,87 à 1,24	0,95 à 1,20	0,23 à 0,34	950 à 970°C BS ou H	702°C-10 h à 700°C-48 h	240 à 1 500	570 à 1 350	—0,10 à 0,78	68 à 82,8	57 à 69,5
	II	5	0,29 à 0,36	0,30 à 0,41	0,63 à 0,80	0,20 à 0,30	1,00 à 1,22	1,00 à 1,30	0,21 à 0,28	950°C BS ou H	690°C-10 h à 722°C-10 h	120 à 550	550 à 1 200	0,34 à 0,90	74 à 86	63 à 72
	III	10	0,24 à 0,31	0,21 à 0,38	0,53 à 0,79	0,41 à 0,78	0,92 à 1,32	0,98 à 1,28	0,24 à 0,37	950°C BS	670°C-32 h à 685°C-48 h	80 à 730	220 à 2 600	—0,07 à 1,11	75 à 86	58,7 à 73
	IV	3	0,24 à 0,27	0,19 à 0,23	0,52 à 0,67	0,53 à 0,71	0,96 à 1,15	0,69 à 0,78	0,30 à 0,41	950°C BS	670°C-32 h à 690°C-32 h	675 à 2 150	200 à 3 300	—0,92 à 0,29	66,5 à 82	44 à 69
Anglaise	I	1	0,25	0,24	0,79 à 0,75	0,18 à 0,19	1,03 à 0,98	1,00 à 0,97	0,32 à 0,33	950°C BS	707°C	680 à 880	800 à 170	0,07 à —0,72	71 à 62,3	54,5 à 39,1
	II	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	III	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	IV	5	0,21 à 0,28	0,17 à 0,25	0,52 à 0,82	0,14 à 0,53	0,76 à 1,00	0,82 à 0,66	0,24 à 0,38	950°C BS ou H	700°C à 710°C	850 à 6 000	170 à 1 000	—0,93 à —0,03	68 à 75,6	48 à 60,5
Allemande	I	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II	0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	III	13	0,26 à 0,36	0,07 à 0,47	0,47 à 0,94	0,48 à 0,80	1,01 à 1,41	1,01 à 1,30	0,25 à 0,34	930°C H ou 950°C H ou BS	700°C à 710°C	30 à 250	120 à 2 000	0,08 à 1,23	70,9 à 84,1	54,7 à 67,8
	IV	2	0,32 à 0,36	0,17 à 0,25	0,70 à 0,85	0,61 à 0,62	1,04 à 1,17	0,49 à 0,78	0,24 à 0,28	950°C H	700°C-6 h à 700°C-13 h	418 à 693	1 250 à 1 650	0,26 à 0,60	76,1 à 79,6	60,2 à 66,2

H = trempe à l'huile BS = trempe au brouillard soufflé

TABLEAU IV.

Origine	R_{20} (kg/mm²)	τ	1/P 10^4	log σ_R	log $\sigma_{1\%}$
Française	76,4 ± 11	0,33 ± 0,92	10,27 ± 0,98	1,280 ± 0,264	1,268 ± 0,246
Allemande	75,1 ± 5,2	0,80 ± 0,64	10,76 ± 1,04	1,343 ± 0,258	1,278 ± 0,286
Anglaise	68,4 ± 8,4	— 0,50 ± 0,76	10,54 ± 0,78	1,350 ± 0,166	néant
Ensemble	75,5 ± 10	0,43 ± 1,04	10,45 ± 1,08	1,304 ± 0,264	1,273 ± 0,264

Dans ce qui suit, seront seulement étudiées la charge de rupture par fluage σ_R et la charge donnant un allongement par fluage de 1 % : $\sigma_{1\%}$.

La *tableau I* donne la décomposition de la population des essais de rupture.

Le nombre d'essais d'allongement par fluage exploitables pour l'étude de $\sigma_{1\%}$ est plus réduit (tabl. II).

Il est difficile, dans le cadre de ce rapport, de détailler plus complètement les analyses chimiques, les vitesses de trempe et les conditions d'essais de fluage de chacune des trois catégories de rotors. Cependant, afin de montrer que ces trois catégories sont suffisamment proches pour pouvoir être analysées ensemble, on indique au *tableau IV* les moyennes et dispersion (± 2 fois l'écart-type) des trois facteurs définis ci-dessus. R_{20}, τ et 1/P ainsi que deux caractéristiques étudiées, log σ_R et log $\sigma_{1\%}$.

On peut voir que les trois séries d'essais ne constituent pas des familles réellement distinctes. Seules les valeurs de τ font apparaître que les essais anglais sont effectués sur des structures moins trempées que pour les essais allemands (composition-type IV, rotors de diamètre important, voir tabl. III).

Les essais inclus dans ce dépouillement sont assez nombreux et d'origines assez diverses pour que l'analyse ait une portée générale. Mais cette diversité même des origines présente l'inconvénient d'être la source, peut-être, de certaines imprécisions soit dans le domaine des techniques expérimentales (multiplicité des types d'éprouvettes et des méthodes de mesure), soit dans celui de l'appréciation des données relatives aux prélèvements (évaluation de la vitesse de refroidissement à la trempe pour différentes positions de prélèvement dans une même pièce).

D'un dépouillement graphique préliminaire, il ressort que l'on peut très simplement, à l'aide du paramètre d'équivalence temps-température précédemment défini, saisir l'influence de ces deux facteurs. En effet, pour chaque rotor, si l'on groupe les essais effectués en une position déterminée de la pièce et si l'on porte log (σ_R) en fonction de 1/P, on constate que les points obtenus s'alignent de façon très satisfaisante pour une valeur de l'énergie d'activation apparente de 90 000 cal-mole^{-1}. Cette première observation nous conduit à admettre une expression de la forme :

$$\log \sigma_R = A_1 + A_2 \cdot \frac{1}{P}, \qquad [3]$$

la valeur numérique des constantes A_1 et A_2 dépendant du rotor considéré et du lieu de prélèvement des éprouvettes.

Si l'on considère maintenant les résultats expérimentaux, pour des fourchettes étroites de valeurs de 1/P, nous sommes amenés à introduire deux autres facteurs : la résistance à température R_{20} (compte tenu de l'adoucissement au cours de l'essai) et le taux de trempe τ. Des calculs de régression effectués sur ce type de population nous amènent à une relation du type :

$$\log \sigma_R = B_1 + B_2 \cdot R_{20} + B_3 \tau + B_4 \cdot \tau \cdot R_{20} \qquad [4]$$

les constantes B_1, B_2, B_3 et B_4 n'étant fonction que de 1/P.

Les relations [3] et [4] établies précédemment nous conduisent donc à proposer une relation générale de la forme :

$$\log \sigma_R = a + b \cdot \tau + c \cdot R_{20} + d \cdot \tau \cdot R_{20} + (e + f \cdot \tau + g \cdot R_{20} + h \cdot \tau R_{20})\, 1/P$$

· ces bases,
n, nous per-
:ients ; nous

2,906 τ
)038 R_{20}
)4/P. [5]

= 0,095 sur
sur σ_R de

on constate
ə 1/P, donc
ərature) ; en
n des para-
roissante de
ıphiques des
ın graphique
nètres consi-
précédentes

quant aux influences respectives de 1/P, τ et R_{20}. Notons toutefois qu'il apparaît, même pour des temps longs, une influence très sensible de la résistance sur σ_R, influence d'ailleurs toujours approximativement du même ordre que celle du taux de trempe.

La *figure* 6 appelle certaines remarques : supposons que l'on cherche à obtenir une valeur de σ_R (530°C, 10 000 h) égale à 24 kg/mm². On peut par exemple viser une résistance R_{20} de 100 kg/mm² et un indice de trempe τ de 1,3 environ, c'est-à-dire une structure très trempée. On sait que dans de telles conditions, la ductilité à chaud est très mauvaise (acier sensible à l'effet d'entaille). Une autre solution pourrait consister à viser une résistance de 70 kg/mm² et un indice de trempe τ de — 1,5 environ, qui correspond à la présence d'une forte quantité de ferrite ; or un tel niveau de résistance ne peut être obtenu avec une telle structure. La véritable solution consiste à se placer entre ces deux extrêmes : nous avons représenté (en tirets) l'allure de la relation existant entre R_{20} et τ pour un acier ayant une résistance de 80 kg/mm² à l'état entièrement bainitique ; dès que τ

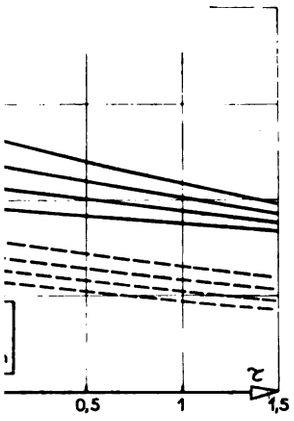
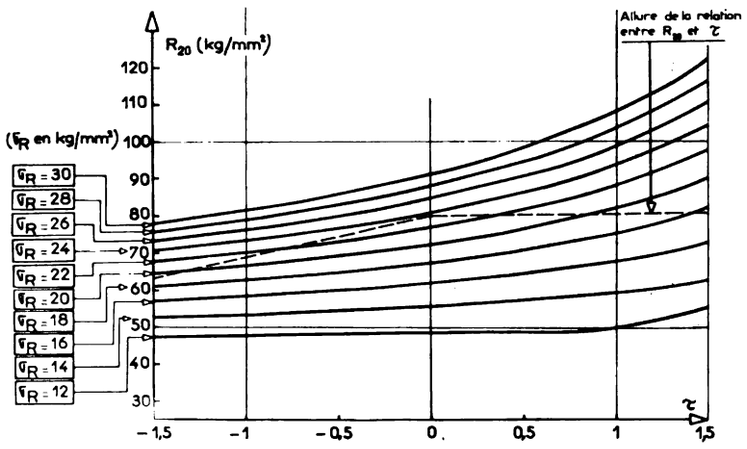


Figure 5. — Variation de σ_R en fonction de τ pour diverses valeurs de R_{20}.



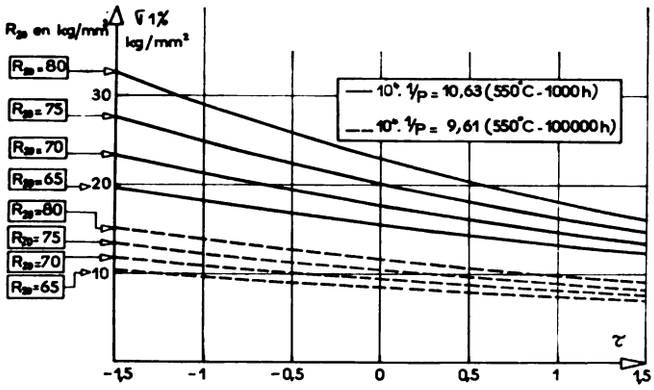


Figure 7. — Variation de $\sigma_{1\%}$ en fonction de τ pour diverses valeurs de R_{20}.

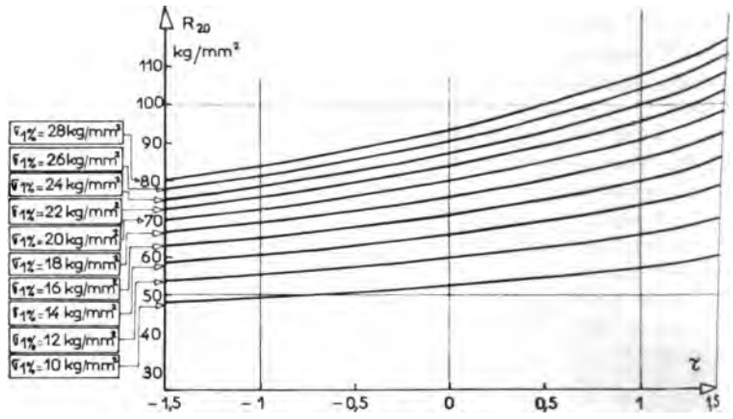


Figure 8. — Variation de $\sigma_{1\%}$ (530°C-10 000 h) en fonction de τ et R_{20}.

prend des valeurs négatives, R_{20} diminue brutalement. On voit ainsi que si l'on recherche une valeur de τ proche de 0, on obtient la valeur la plus élevée possible de σ_R, voisine des 24 kg/mm² visés.

Cet exemple montre que nos équations s'accordent bien avec les principes généralement admis, mais permettent en outre de faire des raisonnements quantitatifs.

Une approche absolument identique nous a permis d'obtenir une relation donnant $\sigma_{1\%}$:

$$\log \sigma_{1\%} = -0{,}895 - 0{,}01028\, R_{20} - 0{,}535\, \tau + 0{,}0092\, \tau \,.\, R_{20} + (0{,}1273 + 0{,}002026\, R_{20} + 0{,}058\, \tau - 0{,}00108\, \tau \,.\, R_{20})\, 10^{-4}/P \qquad [6]$$

avec $2\,\sigma = 0{,}116$, donc une dispersion plus forte que précédemment. Cela peut être expliqué par la plus grande dispersion des résultats d'essais d'allongement par fluage, en raison des différences de méthodes et d'équipements de mesures utilisés par les divers laboratoires (par exemple essais avec ou sans interruption). Les *figures 7* et *8* illustrent cette nouvelle relation dans laquelle les influences respectives de 1/P, τ et R_{20} sont analogues à celles qui agissent sur σ_R, comme il était d'ailleurs logique de le penser.

ÉTUDE PRÉLIMINAIRE DU COMPORTEMENT VIS-A-VIS DE LA RUPTURE FRAGILE

Les données servant de base au dépouillement sont constituées par les résultats d'essais de rupture fragile sur 89 rotors en acier 1 % Cr-Mo-V. Les rotors ont été fabriqués en France et en Allemagne et les essais ont été faits soit par Creusot-Loire, soit par Kraftwerk Union A.G. :

a) Essais de résilience Charpy V (transition d'après l'aspect de cassure, FATT ou $T_{K50/50}$) sur 89 rotors. 70 d'entre eux ont donné lieu à des essais dans le sens tangentiel ou radial sur des éprouvettes prélevées en peau et à des essais dans le sens long sur éprouvettes prélevées dans la carotte axiale. Les 19 rotors restants n'ont été caractérisés qu'en peau.

b) Essais au mouton selon ASTM E 208 (température de transition de ductilité nulle, NDTT), sur éprouvettes tangentielles, en peau et/ou à cœur, sens long, provenant de 20 rotors.

41 rotors sur 89 ont été soumis à la fois à des essais de rupture fragile et de fluage. Comme on le sait [8], la structure métallographique des aciers à 1 % Cr-Mo-V agit en sens opposé sur la résis-

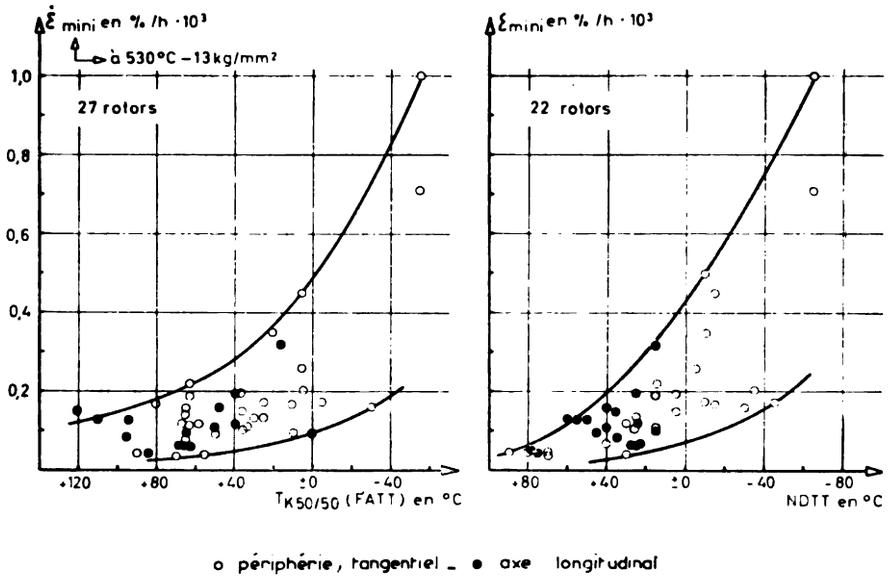


Figure 9. — Variation de $\dot{\varepsilon}_{mini}$ en fonction de la température de transition.

fluage et sur les températures de transition. *gure 9*, les vitesses minimales de fluage surées dans la phase secondaire du fluage sous 13 kg/mm², valeurs moyennes dans 100/2 000 h) sont portées en fonction de ature de transition $T_{K50/50}$ et de la tempéra- T. Les éprouvettes de fluage et de rupture rrespondantes sont toujours prélevées aux nplacements. On voit que la résistance au dégrade significativement lorsque la téna- éliore et l'influence du traitement thermique structure sont clairement démontrées par s comparatifs.

nous paraît-il intéressant d'examiner si les eurs « indice de trempe τ » et « résistance oduits avec succès dans l'analyse statis- résultats de fluage, sont aussi des facteurs fs pour le comportement vis-à-vis de la rup- le.

eur moyenne de la résistance des 89 rotors la peau et sur l'axe) est de 76 kg/mm² dispersion $\pm 2\,\sigma = 10$ kg/mm². Les tem- de transition sont :

oyenne + 55°C ; $\pm 2\,\sigma = \pm 70$°C (89 otors, 186 points)

oyenne + 20°C ; $\pm 2\,\sigma = \pm 55$°C (20 otors, 29 points).

les gammes de variations considérées, une préliminaire ($T_{K50/50}$ et NDTT en fonction montre pas d'influence significative de R_{20}. Ceci contraste nettement avec l'influence de R_{20} établie par l'analyse statistique des propriétés de fluage (σ_R et $\sigma_{1\%}$).

Les indices de trempe τ pour les différents emplacements d'essais des 89 rotors couvrent l'intervalle — 1 à + 1,5. Une relation linéaire apparaît dans cet intervalle entre τ et les valeurs $T_{K50/50}$ et NDTT, (fig. 10 et 11). Lorsque τ croît, c'est-à-dire lorsqu'augmentent les vitesses de refroidissement après austénitisation, le comportement à la rupture fragile est également amélioré. Ceci est en bon accord avec l'expérience. Les réactions opposées de la résistance au fluage et du comportement à la rupture fragile devant les variations de l'indice de trempe constituent une explication satisfaisante de la relation entre ces deux catégories de propriétés (comparer les *figures 5* et *7* avec les *figures 10* et *11)*.

Ceci confirme que l'indice de trempe constitue un facteur important qu'il convient de retenir également dans l'étude de la température de transition.

Les points relatifs à $T_{K50/50}$ et NDTT présentent une dispersion considérable autour des droites moyennes tracées sur les *figures 10* et *11* ; ceci indique que d'autres facteurs importants interviennent, dont il n'a pas été tenu compte dans cette étude. De tels facteurs peuvent être :

— la grosseur du grain austénitique. Il semble, d'après les résultats donnés au *tableau III*, qu'on ne puisse pas s'attendre à une forte variation de la grosseur de grain pour la famille des rotors étudiés. On doit se souvenir cependant qu'en

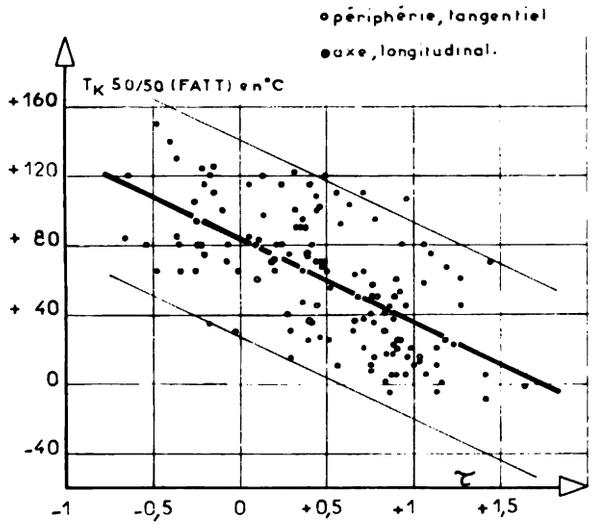


Figure 10. — Variation de $T_{K50/50}$ en fonction de τ.

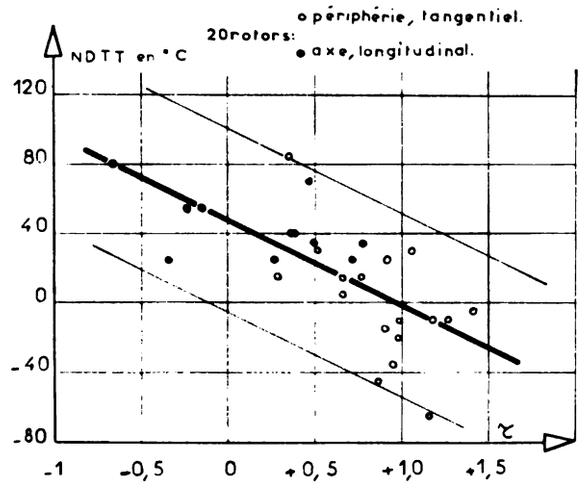


Figure 11. — Variation de la NDTT en fonction de τ.

cours de fabrication, des traitements de normalisation assez différents (et répétés) ont été effectués avant le traitement final de qualité ;

— le traitement de revenu, température, durée de maintien, conditions de refroidissement) ;

— la nature et la distribution des carbures, des nitrures et des phases intermétalliques dans la structure de l'acier (composition chimique des phases, dimensions des particules, distance et distribution dans la matrice et aux joints des grains).

En principe, il est très simple d'introduire des facteurs supplémentaires dans l'analyse statistique proposée. Actuellement, cependant, on ne dispose pas de données suffisamment complètes pour aller plus avant ; en particulier, on doit attendre les résultats des études actuellement en cours dans plusieurs laboratoires.

CONCLUSIONS

Les analyses statistiques effectuées montrent que l'on peut améliorer les propriétés de fluage des rotors en choisissant une composition chimique et un traitement thermique adaptés au diamètre de chaque pièce. Les caractéristiques de fluage les meilleures sont obtenues en réalisant une vitesse de trempe aussi proche que possible de la vitesse critique de trempe, mais restant supérieure à cette dernière.

De plus, un accroissement de la résistance à la température ambiante se traduit par un relèvement des caractéristiques de fluage.

Par ailleurs, l'abaissement de la température de transition de la résilience et de la NDTT peut s'obtenir en réalisant une structure trempée très énergiquement.

Certes, les équations établies ne sont pas destinées à remplacer les essais réels. Leur objectif est surtout d'aider le métallurgiste à choisir les conditions de fabrication permettant de conférer à un rotor des propriétés aussi proches que possible de celles qui sont recherchées. Elles permettent aussi d'évaluer le gain que l'on peut attendre de la modification de certains paramètres de fabrication.

Nous avons pu mettre en évidence que toute action sur la structure se traduit par des variations opposées des comportements au fluage et à la rupture fragile. En conséquence, il ne semble pas que l'on puisse, en jouant sur la structure, améliorer l'une de ces propriétés sans dégrader l'autre. Des recherches plus poussées méritent d'être poursuivies pour arriver à réaliser une meilleure combinaison de propriétés : on peut espérer que la microscopie électronique apportera des éléments d'information intéressants dans ce domaine.

D'autre part, la réalisation de rotors dont les parties chaudes(admission) et les parties froides (échappement) seraient soumises à des traitements thermiques différents — ou même seraient de compositions chimiques différentes — n'est pas inconcevable, avec les moyens actuellement existants ou en cours de développement. Il est certain néanmoins que la réalisation de tels rotors poserait des problèmes délicats au stade de la conception et au stade de la fabrication.

bibliographie

1. BANDEL (G.), HAUMER (H.C.). — Beitrag zur rechnerischen Ermittlung der Durchvergütbarkeit schwerer Schmiedestücke. *Stahl und Eisen*, 84 (1964), 932-946.

2. ROQUES (C.), FERRY (R.), BOUDOT (R.). — La fabrication des rotors. Premier Congrès Italien de la Grosse Forge, Terni (26-29 septembre 1961).

3 MAYNIER (Ph.), DOLLET (J.), BASTIEN (P.). — Influence des éléments d'alliage sur la trempabilité des aciers faiblement alliés. *Rev. Métallurg.*, 67, n° 4 (avril 1970), 343-351.

4 COMON (J.), BASTIEN (P.). — Le traitement thermique de qualité des pièces de forge. 5e Congrès International de la Grosse Forge. Terni, Italie (mai 1970). Rapport n° 1.

5 MAYNIER (Ph.), MARTIN (P.F.), BASTIEN (P.), SEBILLE (J.). — Etablissement d'une équivalence entre les temps et la température d'austénitisation. *Mém. Sci. Rev. Métallurg.*, 63, n° 12 (décembre 1966), 997-1 016.

6 MURPHY (M.C.), DUVAL (D.), CHITTY (A.). — The creep properties of steels for large steam turbines. Symposium on Heat-Resistant Metallic Materials, Report n° 5, Prague (septembre 1964). *Metallurgia*, 71 (1965), 13-23.

7 Ringbuch « Ergebnisse deutscher Zeitstandversuche langer Dauer », herausgegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgemeinschaft für warmfeste Stähle. Verlag Stahleisen m.b.H., Düsseldorf (1969).

8 SCHINN (R.), SCHIEFERSTEIN (U.). — Eigenschaften warmfester 1 % Cr-Mo-V-Stähle für HD- und MD-Turbinenwellen. 5e Congrès International de la Grosse Forge, Terni, Italie (mai 1970). Rapport n° 2.

ANNEXE

EXEMPLE DE CALCUL

Il s'agit d'un cas réel :

— Diamètre à fond d'entaille (fût) = 1 040 mm.

— Composition chimique (identique en peau et à cœur) :

0,26 % C, 0,57 % Mn, 0,53 % Ni, 0,96 % Cr, 0,78 % Mo, 0,31 % V.

— Traitement thermique :

Austénitisation : 950°C pendant 20 h — Trempe au brouillard soufflé.

Revenu : 670°C pendant 32 h.

— Résistance à la traction mesurée à la température ambiante :

en peau : R = 75,5 kg/mm²

à cœur : R = 66,5 kg/mm².

On se propose de calculer σ_R pour 10 000 h à 550°C :

A la peau.

Calcul de τ :

Figure 2 : pour $\varnothing$ = 1 040 mm : V_T = 770°C/h ; log V_T = 2,8865

V_2 résulte du calcul suivant :

si l'on tient compte des conditions effectives d'austénitisation, on a en toute rigueur :

$$P_a = \left[\frac{1}{T} - \frac{n\,R}{\Delta H} \log \left(\frac{t}{t_0}\right)\right]^{-1} - 273$$

où T : température absolue

t : temps en heures

t_0 : unité de temps

n : logarithme Népérien de 10 = 2,3

R : constante des gaz parfaits = 1,989 cal-mole

ΔH : chaleur d'activation apparente du phénomène de grossissement du grain = 110 000 cal-mole.

Il vient :

$$P_a = \left[\frac{1}{950 + 273} - \frac{4{,}6}{110\,000} . \log \frac{20}{1}\right]^{-1} - 273$$
$$= 1\,037^{o}C$$

d'après l'équation [1] :

$$\log V_2 = 10{,}17 - (3{,}8 \,.\, 0{,}26) - (1{,}07 \,.\, 0{,}57) - (0{,}7 \,.\, 0{,}53) - (0{,}57 \,.\, 0{,}96) - (1{,}58 \,.\, 0{,}78) - (0{,}0032 \,.\, 1\,03$$
$$= 3{,}103$$

Comme signalé dans le texte, on pourrait négliger de tenir compte des conditions effectives d'austé tisation et utiliser l'équation simplifiée [2], d'où :

$$\log V_2 = 6{,}92 - (3{,}8 \,.\, 0{,}26) - (1{,}07 \,.\, 0{,}57) - (0{,}7 \,.\, 0{,}53) - (0{,}57 \,.\, 0{,}96) - (1{,}58 \,.\, 0{,}78)$$
$$= 3{,}171$$

On observe que ce dernier résultat est pratiquement identique au précédent, ce qui justifie l'équati simplifiée.

La valeur de τ est donc :

$$\tau = \log \frac{V_T}{V_2} = \log V_T - \log V_2 = 2{,}8865 - 3{,}103$$
$$= -\,0{,}216.$$

Calcul de R_{20}.

Nous devons déterminer si l'adoucissement au cours de l'essai de fluage doit être pris en ligne compte.

D'après la *figure 3*, avec ΔH = 100 000 cal-mole^{-1}, le revenu métallurgique de 32 h à 670°C se ca térise par

$$\frac{1}{P_R} = 9{,}9 \,.\, 10^{-4\,o}K$$

Avec la même valeur de ΔH, l'essai de fluage de 10 000 h à 550°C se caractérise par

$$\frac{1}{P_F} = 10{,}31 \,.\, 10^{-4}\ {}^{o}K$$

$$\frac{1}{P_R} - \frac{1}{P_F} = -0{,}41 \,.\, 10^{-4}\ K$$

d'où (fig. 4) :

$$\Delta R = 1{,}4\ kg/mm^2$$

La valeur de R_{20} que nous introduisons dans les calculs sera donc :

$$R_{20} = 75{,}5 - 1{,}4 = 74{,}1\ kg/mm^2$$

Calcul de 1/P.

La valeur de 1/P à introduire dans le calcul est celle qui correspond au phénomène « fluage » ; elle doit donc être calculée avec $\Delta H = 90\,000$ cal-mole^{-1}.

Figure 3 = 550°C, 10 000 h donne $1/P = 10{,}11 \,.\, 10^{-4}$°K.

Calcul de σ_R

Il suffit d'appliquer l'équation [5].

$$\log \sigma_R = -1{,}371 + (0{,}00531 \,.\, 74{,}1) - (2{,}906 \,.\, [-0{,}216]) + (0{,}0362 \,.\, [-0{,}216] \,.\, 74{,}1)$$
$$+ \left[0{,}1924 + (0{,}00038 \,.\, 74{,}1) + (0{,}2897 \,.\, [-0{,}216]) - (0{,}0037 \,.\, [-0{,}216] \,.\, 74{,}1)\right] . \, 10{,}11$$
$$= 1{,}26685$$

$$\sigma_R = 18{,}5\ kg/mm^2$$

A cœur.

Calcul de τ.

Figure 2 : pour $\varnothing$ = 1 040 mm V_T = 180°C/h

$$\log V_T = 2{,}2553\ ;$$

la valeur de $\log V_2$ est la même qu'en peau : $\log V_2 = 3{,}103$

d'où :

$$\tau = \log \frac{V_T}{V_2} = \log V_T - \log V_2 = 2{,}2553 - 3{,}103$$
$$= -0{,}848.$$

Notons que cette valeur très faible de τ signifie qu'il y a de la ferrite libre à cœur, ce qui est confirmé par la faible valeur de la résistance.

Calcul de R_{20}.

L'adoucissement ΔR est le même qu'en peau :

$$\Delta R = 1{,}4\ kg/mm^2$$

d'où :

$$R_{20} = 66{,}5 - 1{,}4 = 65{,}1\ kg/mm^2$$

Calcul de 1/P.

Comme en peau, $1/P = 10{,}11 \cdot 10^{-4}$ °K

Calcul de σ_R.

Application de l'équation [5] :

$$\log \sigma_R = -1{,}371 + (0{,}00531 \cdot 65{,}1) - (2{,}906 \cdot [-0{,}848]) + (0{,}0362 \cdot [-0{,}848] \cdot 65{,}1)$$
$$+ \left[0{,}1924 + (0{,}00038 \cdot 65{,}1) + (0{,}2897 \cdot [0{,}848]) - (0{,}0037 \cdot [-0{,}848] \cdot 65{,}1)\right] \cdot 10{,}11$$
$$= 1{,}21719$$
$$\sigma_R = 16{,}5 \text{ kg/mm}^2$$

L'exemple cité correspond à une pièce réelle. Les valeurs de σ_R pour 550°C, 10 000 h déduites essais sont :

— en peau : $\sigma_R = 19{,}5$ kg/mm²

— à cœur : $\sigma_R = 18{,}5$ kg/mm².

On observe donc que σ_R est plus faible à cœur qu'en peau et que, sur ce point, les calculs et les e sont en bon accord.

Ce n'est cependant pas une loi générale, si la structure à cœur est exempte de ferrite ($\tau >$ (résistance à cœur est très voisine de la résistance en peau et σ_R est alors plus élevé à cœur qu'en pea

imulateur de
s de soudage

D. Levert, M. Hubert, C. Messager
urs au Centre Technique des Applications du Soudage
a Soudure Autogène Française, Saint-Ouen-l'Aumône)

rs Spéciaux, à Saint-Etienne, 4-5 mai 1972.

Le chauffage des échantillons cylindriques par effet Joule est contrôlé par les conditions courant-temps.

Le refroidissement est obtenu par pompage radial des calories à l'aide d'un fluide distribué uniformément à la surface de l'éprouvette. Le cycle de traitement est entièrement déterminé par préaffichage des programmes d'échauffement et de refroidissement. La machine agit en automatisme intégral sans liaison avec le phénomène thermique qu'elle engendre. Cette caractéristique extrêmement importante autorise à ne plus être tributaire de la grandeur température au cours du traitement.

La présentation du simulateur comprend trois parties :

— Principe de fonctionnement.

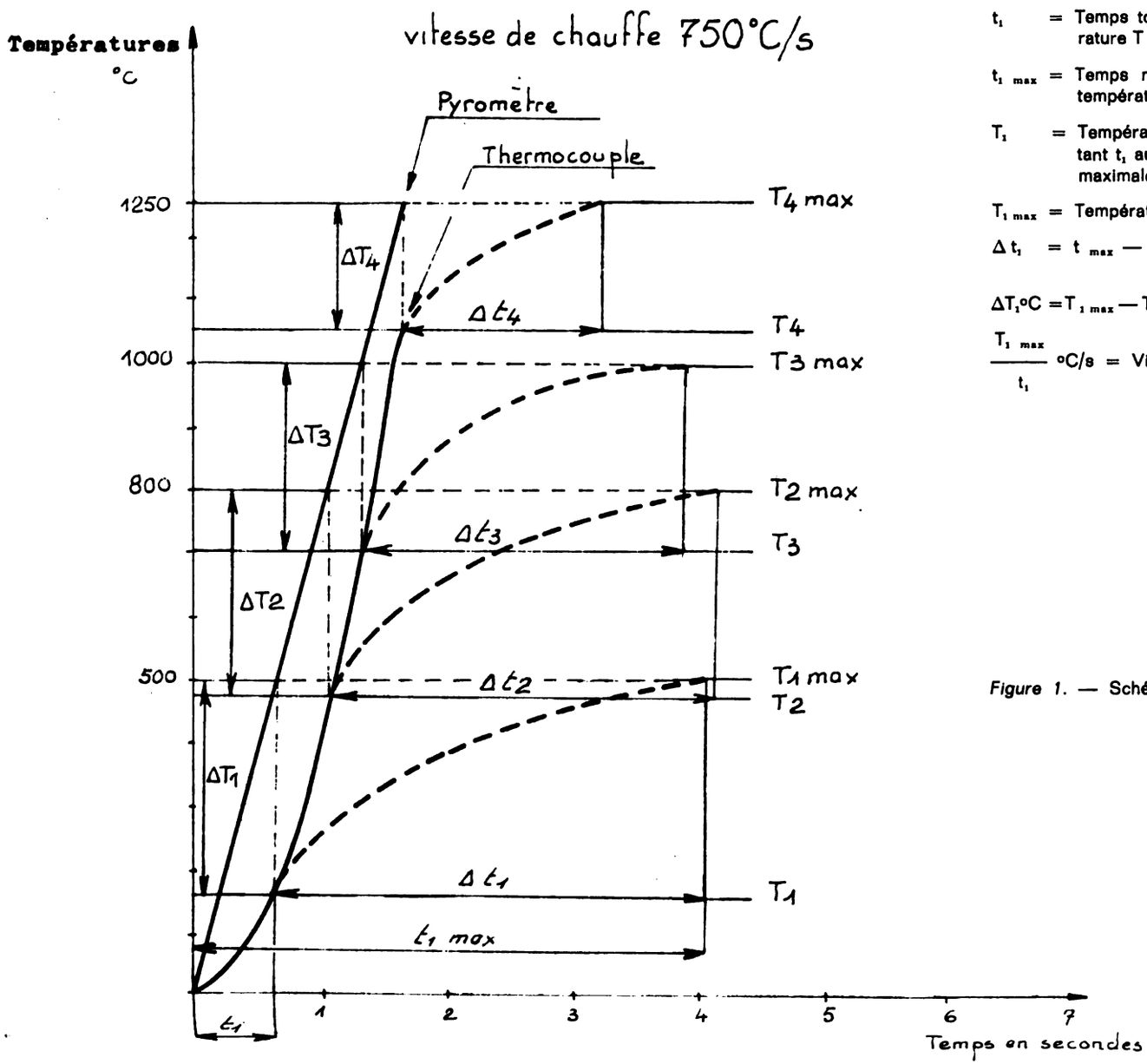
— Description.

— Utilisation.

PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT

Le pilotage du traitement.

Certains appareils de simulation utilisent l'écart d'information entre un thermocouple soudé à la surface de l'éprouvette et un générateur de fonction pour



t_1 = Temps total de chauffage pour atteindre la température T maxi.

$t_{1\,max}$ = Temps mis par le thermocouple pour donner la température maximale T max.

T_1 = Température donnée par le thermocouple à l'instant t_1 auquel l'échantillon a atteint sa température maximale.

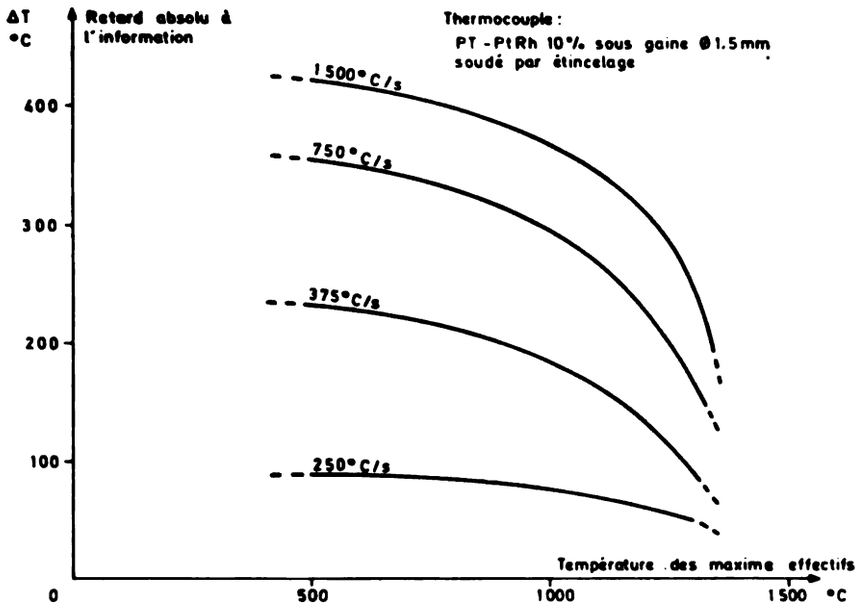
$T_{1\,max}$ = Température maximale atteinte par l'éprouvette.

$\Delta t_1 = t_{max} - t_1$ = Temps de réponse du thermocouple pour la température maximale T_{max}.

$\Delta T_1 °C = T_{1\,max} - T_1$ = Retard absolu température.

$\frac{T_{1\,max}}{t_1}$ °C/s = Vitesse de montée en température.

Figure 1. — Schéma de principe de la détermination des retards.



gure 2. — Retard absolu à l'information en fonction de la température pour différentes vitesses de chauffe.

obtenir le traitement thermique désiré. Cependant, si le thermocouple est une excellente sonde pour les mesures statiques, il perd beaucoup de ses qualités lorsqu'il est utilisé pour la mesure de température en évolution rapide.

L'essai suivant a été effectué :

L'inertie thermique d'un thermocouple platine-platine rhodié 10 %, fils de diamètre 15/100, soudé par étincelage à 1 mm sous la surface d'une éprouvette d'acier austénitique, a été évaluée quantitativement par rapport à un pyromètre électronique pointé à l'emplacement de la soudure chaude sous-jacente.

L'éprouvette étant soumise à un échauffement linéaire jusqu'à la température maximale désirée, l'enregistrement simultané des informations provenant du thermocouple et du pyromètre permet de préciser les grandeurs indiquées et illustrées par le graphique de la *figure 1*.

En admettant les hypothèses suivantes :

- chauffage homogène instantané dans la section transversale de mesure ;
- inertie nulle du pyromètre,
- pertes thermiques par radiations faibles,

les grandeurs $\Delta T°C$ et Δt permettent d'évaluer l'inertie du thermocouple pour des valeurs déterminées de vitesses de montée en température et de températures maximales atteintes.

Les *figures 2* et *3* présentent les résultats des essais obtenus en utilisant la méthode décrite.

Ces résultats sont impressionnants et conduisent à s'étonner que des traitements thermiques dynamiques aient pu être effectués avec succès, selon cette technique de pilotage, à partir des informations d'un thermocouple.

L'explication de cette contradiction se trouve dans la confrontation de ces résultats avec le contexte d'un cycle thermique complet de soudage.

Les cycles thermiques de soudage se caractérisent pour les procédés courants par l'association de grandes vitesses de montée en température à des températures maximales atteintes élevées et inversement. D'après les essais précédents, ces deux caractéristiques ont une action antagoniste sur les retards.

En effet, d'après les *figures 2* et *3*, aux grandes vitesses de montée en température et aux faibles températures maximales correspondent les plus grands retards et inversement.

D'autre part, l'inertie constatée du thermocouple à l'échauffement se produit dans un sens inverse au refroidissement. De ce fait, l'indication de la température maximale par le thermocouple n'est pas très en deçà de la réalité mais elle est donnée avec un retard non négligeable. La question à se poser est celle de la validité des essais effectués au cours du chauffage ou du refroidissement en relation avec la température réelle des échantillons.

Par ailleurs, la qualité de la réalisation et du soudage du thermocouple intervient notablement sur la bonne reproductibilité des cycles thermiques et, par ailleurs, les pertes par rayonnement ne sont plus négligeables à partir d'une certaine température comme le montre la *figure 4*.

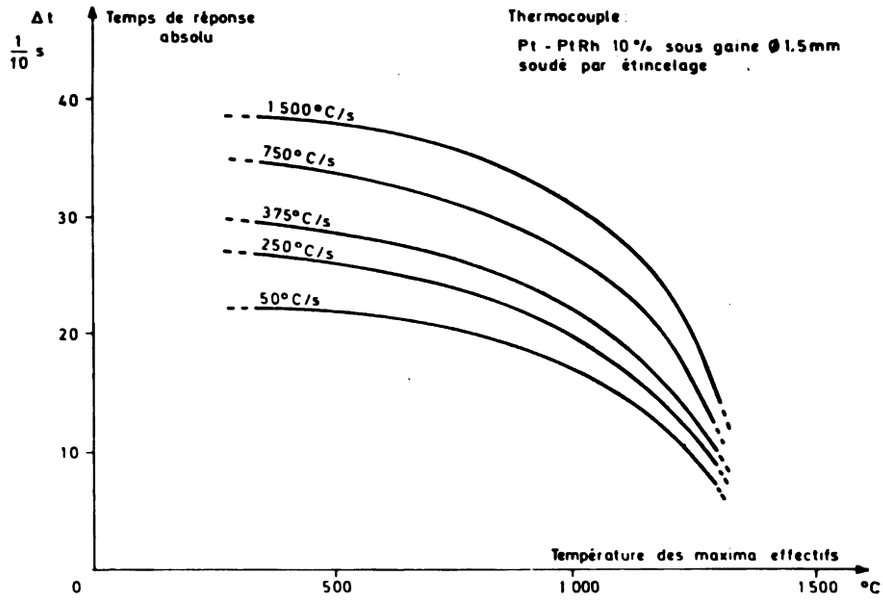


Figure 3. — Temps de réponse absolu en fonction de la température pour différentes vitesses de chauffe.

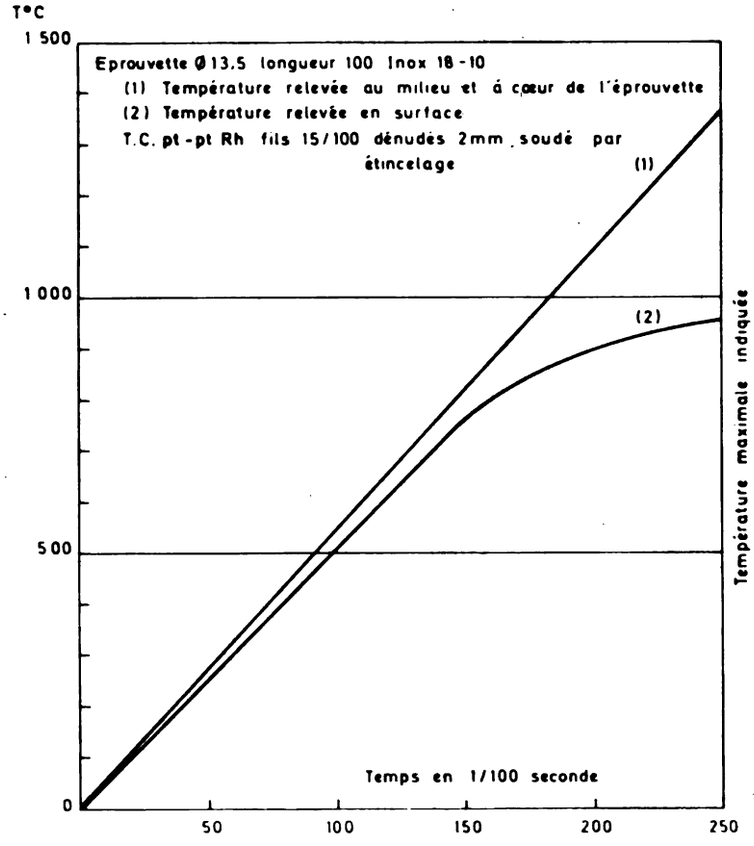


Figure 4. — Ecarts entre la tempér mesurée à cœur et celle mesurée en su sur éprouvette chauffée à la vitesse 700°C/s.

Dans ces conditions, nous avons estimé que la température mesurée par thermocouple n'était pas un critère sûr de pilotage pour l'exécution de traitements thermiques dynamiques tels que sont les cycles thermiques de soudage.

Ce sont les facteurs du chauffage et du refroidissement, programmés préalablement au traitement, qui ont été retenus comme critères de pilotage du simulateur présenté.

Le chauffage.

Le chauffage de l'éprouvette est obtenu par passage d'un courant électrique d'intensité déterminée et rigoureusement stabilisée pendant un temps contrôlé au centième de seconde. Dans ces conditions, pour un matériau et une géométrie d'éprouvette déterminée, la température maximale est reproduite avec une excellente précision ± 3°C. Ainsi, à un état initial déterminé de l'éprouvette correspond nécessairement, après traitement électrique, un état final déterminé, ce qui est un aspect extrêmement intéressant pour les études métallurgiques qui exigent souvent un grand nombre d'éprouvettes identiques.

Le principe retenu ne permet pas de contrôler la loi d'échauffement en cours d'essai. De nombreux essais conduits sur matériaux ferreux ont montré que l'échauffement est pratiquement linéaire et que les transformations de phase, auxquelles sont liées des variations de résistivité électrique et de capacité calorifique, ne perturbent pas l'allure du cycle de façon gênante sur le plan métallurgique.

Le refroidissement.

L'obtention d'un volume important de structure homogène est en général recherché pour permettre l'exécution ultérieure d'essais mécaniques normalisés de résilience et surtout de traction.

Le refroidissement longitudinal habituellement utilisé limite ce volume qui, dans les meilleures conditions, pour une éprouvette cylindrique de diamètre 12 mm et de longueur 25 mm, ne dépasse pas 15 mm de longueur.

Ce volume est souvent encore plus réduit si, conjointement au refroidissement, un courant électrique est injecté pour ajuster la loi de refroidissement fixée. Cette diminution du volume homogène s'explique par le fait qu'en refroidissement longitudinal, le gradient thermique s'établit dans le sens du passage du courant. Dans ces conditions, la zone centrale la plus chaude étant plus résistante sera soumise à l'effet Joule maximal accentuant ce gradient.

Le refroidissement radial permet d'obtenir naturellement des volumes homogènes importants. Il évite l'écueil de l'effet préférentiel du courant électrique utilisé conjointement qui, dans ce cas, contribue même à égaliser les températures.

Ce type de refroidissement a été retenu pour le simulateur présenté.

Le fluide refroidisseur, composé d'un mélange en quantité variable prédéterminée d'eau et d'air comprimé, est distribué uniformément à la surface de

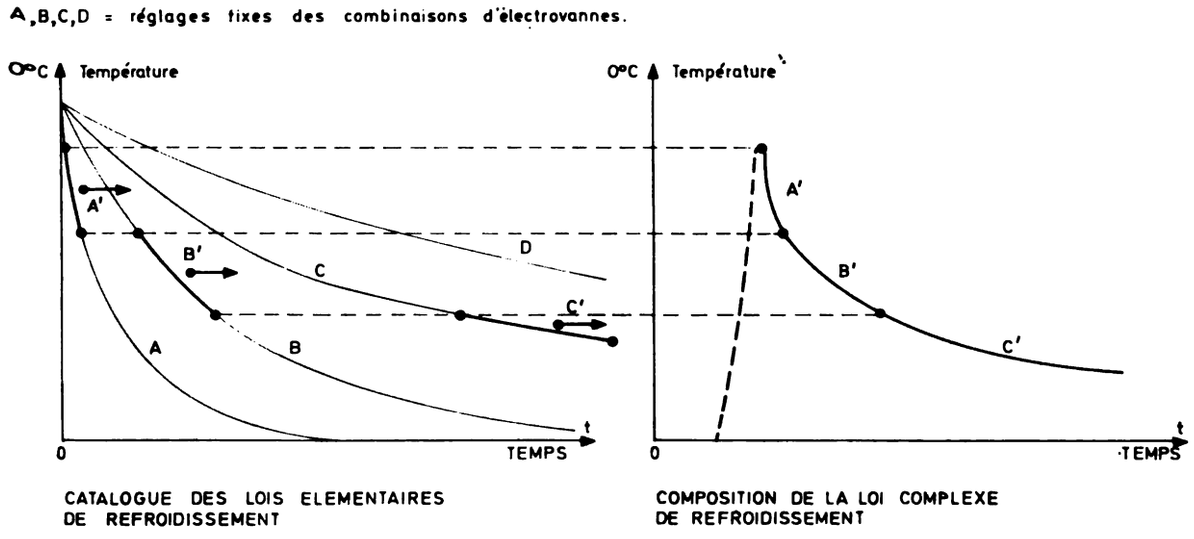


Figure 5. — Principe de réalisation d'une loi complexe de refroidissement.

l'éprouvette au moyen d'un pulvérisateur en cage d'écureuil.

Le cycle de refroidissement est obtenu par une succession d'états élémentaires du débit du fluide refroidisseur. Cette succession est déterminée au préalable à partir des lois élémentaires de refroidissement connues pour chaque combinaison d'électrovannes, comme le montre la *figure 5*.

Automatisme.

Etant donné que le principe de cyclage retenu rejette l'asservissement continu à la température, l'exécution du cycle est confiée à un automatisme qui opère sans information en retour. Tous les événements conduisant au cycle souhaité sont mis en mémoire et déclenchés dans le temps suivant un programme établi pour chaque cycle. Cet automatisme, indifférent vis-à-vis de ses conséquences au niveau de l'éprouvette, est cependant remarquablement apte à réaliser la bonne reproductibilité d'un cycle thermique dont les caractéristiques auront été soigneusement traduites sur le programme.

DESCRIPTION DU SIMULATEUR DE CYCLES THERMIQUES (fig. 6)

Comme tous les simulateurs, cet appareil se compose des quatre unités nécessaires à la réalisation d'un cycle thermique :

— chauffage ;

— refroidissement ;

— programmation, automatisme ;

— contrôle.

Contrairement à la plupart des appareils de ce type, l'unité de contrôle est ici indépendante des autres unités ; il ne lui est confié aucun rôle actif au cours du traitement.

Elle est utilisée à deux fins :

— Elaboration du programme : détermination des conditions de chauffage et de refroidissement.

— Contrôle passif en cours de traitement des facteurs intensité et temps. Elle fournit également une indication précise sur la bonne reproductibilité de la température maximale des cycles, par enregistrement de l'information issue d'un pyromètre électronique à radiation pointé sur l'éprouvette.

L'unité de chauffage.

En raison du principe d'échauffement retenu, les deux facteurs intensité stabilisée et temps sont parfaitement maîtrisés. La précision du contrôle de ces facteurs est du centième de seconde pour le temps et de 0,5 % de la valeur affichée pour l'intensité du courant. Le générateur de puissance est un transformateur à caractéristique horizontale, de puissance nominale 32 kVA, mais qui peut être utilisé en sur-

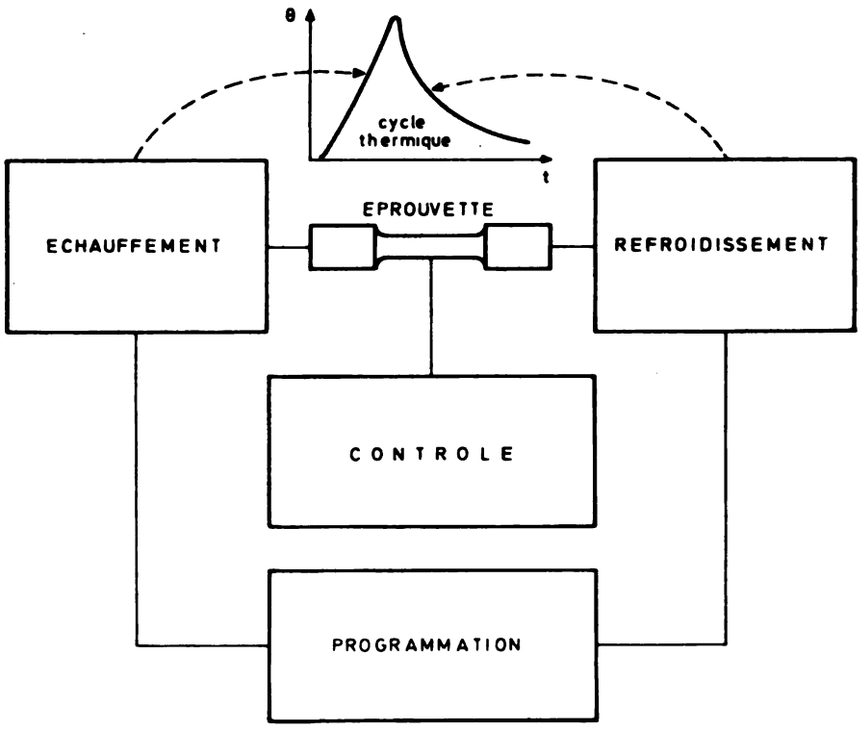


Figure 6. — Schéma de principe du simulateur de cycles thermiques.

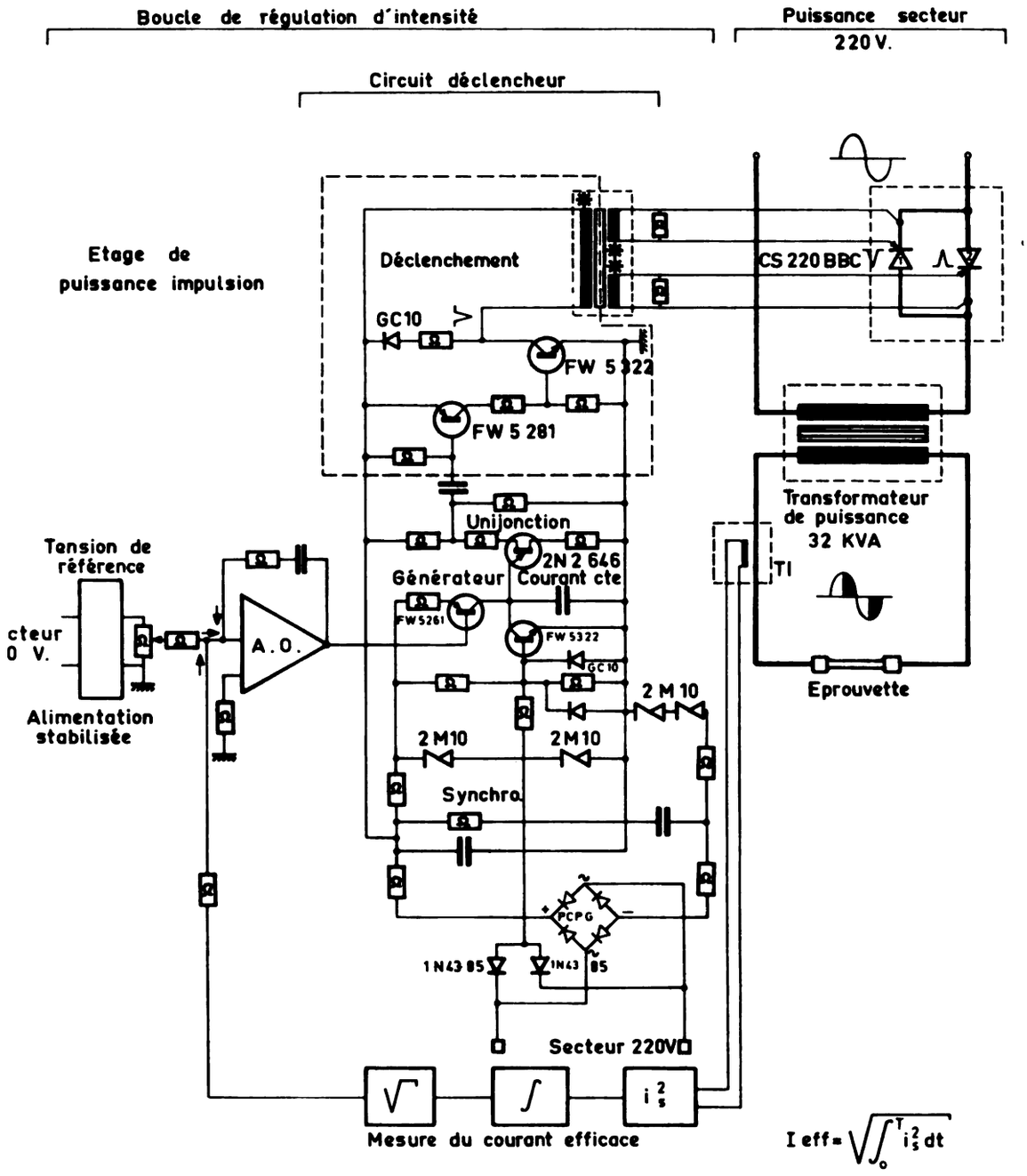


Figure 7. — Schéma de principe du circuit déclencheur de la boucle de régulation.

ıce jusque 70 kVA en raison de son très faible de marche en simulation thermique (FM < La caractéristique du générateur de puissance par le point 7,5 V à 9 000 A.

tensité maximale applicable à l'éprouvette est)00 A. La régulation de l'intensité du circuit ıce est obtenue par la commande de deux thy- montés tête-bêche contrôlant à angle d'ou- variable le courant admis au primaire du rmateur de puissance. Les thyristors sont commandés par une boucle de régulation de l'intensité. La boucle de régulation fonctionne en détectant l'intensité fournie au secondaire à l'aide d'un transformateur d'intensité (TI). L'indication du TI est traitée par un étage de conversion afin d'obtenir la valeur efficace de l'intensité du secondaire. Ce signal est opposé à celui d'un potentiomètre alimenté sous une tension stabilisée. La différence de tension résultante est amplifiée et sert d'information au circuit déclencheur qui commande en conséquence l'ouverture des thyristors.

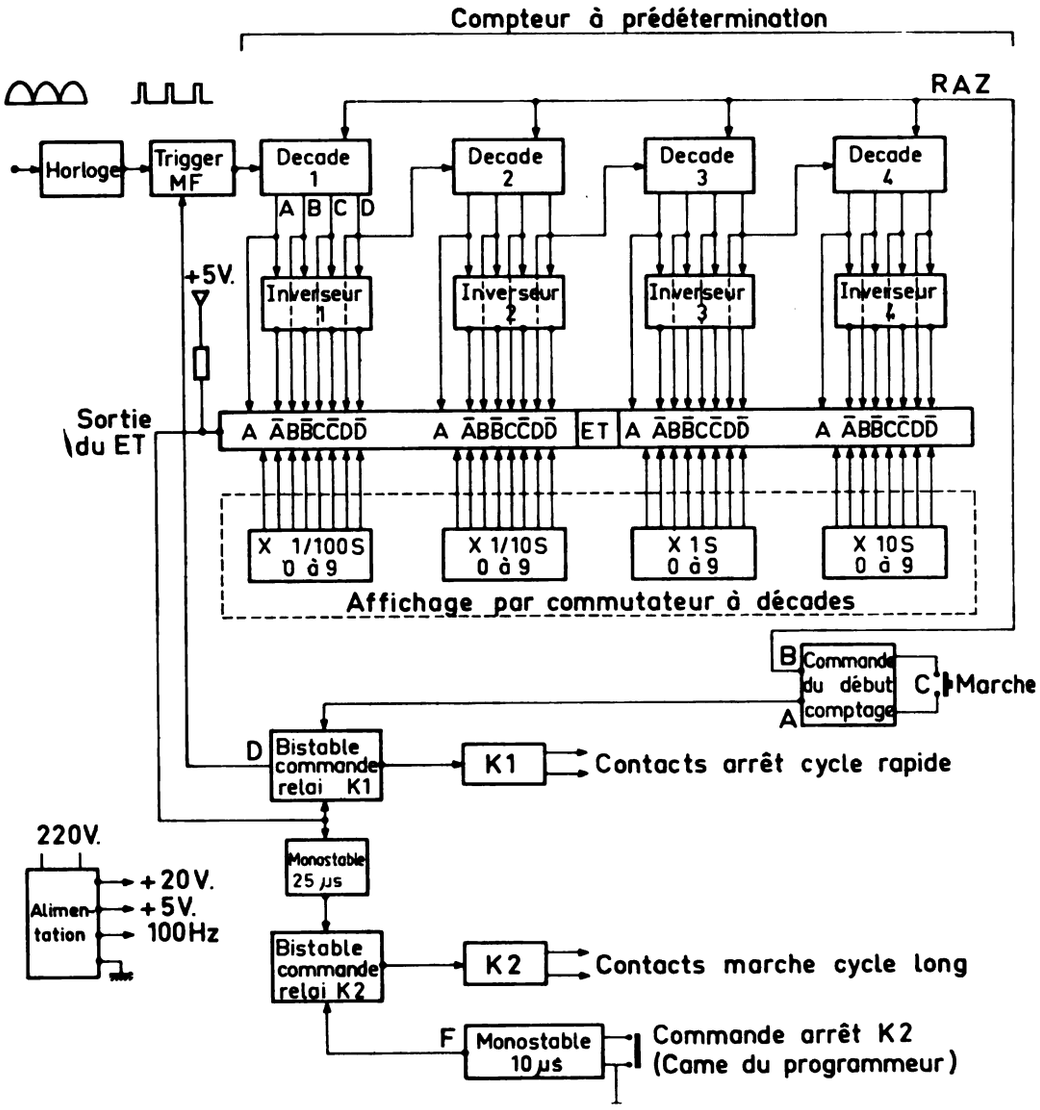


Figure 8. — Schéma de fonctionnement du compteur à prédétermination.

L'intensité est stabilisée lorsque la différence des signaux est nulle. La boucle de régulation agit donc en permanence pour imposer à l'éprouvette un courant d'intensité rigoureusement stabilisée à la valeur affichée. Ce dispositif apporte l'avantage fondamental de fournir à l'éprouvette un courant déterminé sans tenir compte de la variation de résistivité de l'éprouvette. L'étude des oscillogrammes d'intensité indique que la boucle de régulation stabilise l'intensité en moins de dix centièmes de seconde à une valeur constante et que la rupture de l'intensité est franche. La rectitude quasi-parfaite du cycle de l'intensité permet une excellente maîtrise de l'énergie dissipée au niveau de l'éprouvette (fig. 7).

Le contrôle du temps d'application de l'intensité est assuré par un compteur à prédétermination. Il s'agit d'un compteur à circuits intégrés logiques. (compteur se compose de trois éléments principa (fig. 8) :

— un commutateur à décades,

— un compteur alimenté par une horloge,

— une fonction logique ET.

Le commutateur à décades permet d'afficher clair le temps en centième de seconde ; à cet a chage particulier correspond un état électronique p cis écrit dans le code B.C.D. (binaire codé décim Le compteur comprend un générateur d'impulsi composé d'une horloge et d'un trigger de mise forme. Les signaux émis sont reçus par le compt à quatre décades de comptage montés en casca

Le pulvérisateur est réalisé en cage d'écureuil et le mélange est projeté au niveau de l'éprouvette par douze tubes percés chacun de 20 trous de pulvérisation (fig. 10).

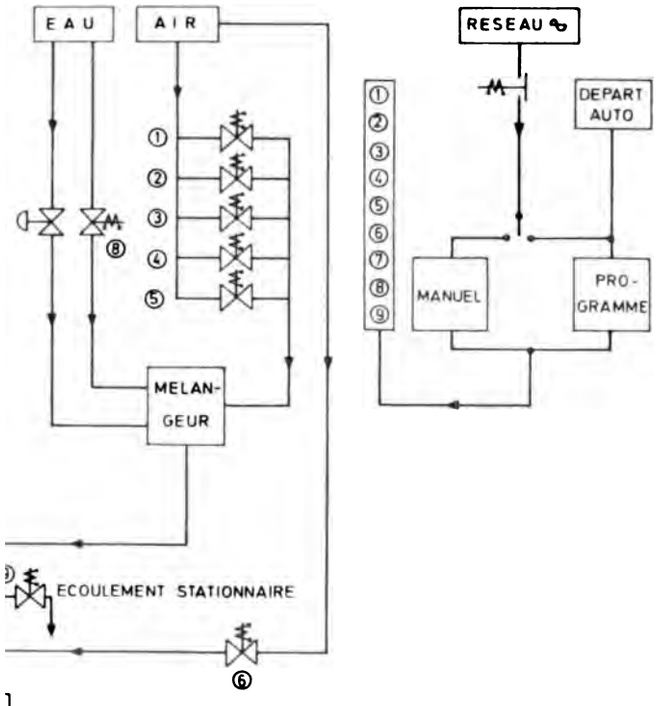
Le mélange ainsi réparti assure un refroidissement radial sur plus de 50 % de la longueur de l'éprouvette.

L'éprouvette, serrée dans des pinces en cupro-béryllium, est placée sur l'axe de symétrie de la cage de pulvérisation.

Les pinces ont été spécialement conçues pour éviter toute risque d'arcs électriques entre les surfaces en contact ; leur résistance électrique a été réduite au minimum.

Leur commodité de maniement assure à l'opérateur un minimum de gestes, ce qui est appréciable pour le traitement en série.

Pour assurer la bonne reproductibilité des mélanges, le refroidisseur utilise un principe d'état initial et d'état final. L'état initial du refroidisseur correspond à la nature immuable des ajutages et des caractéristiques géométriques des circuits hydropneumatiques ainsi qu'à la valeur constante des pressions d'alimentation en eau et en air. Dans ces conditions, à une combinaison déterminée d'ouverture d'électrovanne, il correspond nécessairement un état final d'écoulement stationnaire du mélange.



L'unité de programmation.

La multiplicité des opérations et le caractère aveugle du fonctionnement de la machine, au cours d'un cycle thermique, imposent un automatisme intégral. Celui-ci est obtenu en utilisant un programme principal commandant deux programmes périphériques. Le premier programme périphérique se limite à la mise en mémoire du temps d'application et de la valeur de l'intensité du courant de puissance. Le deuxième programme périphérique est chargé de déclencher le fonctionnement du simulateur suivant des paliers de courant secondaires.

Outre le déclenchement du programme périphérique, le programme principal commande l'ensemble des fonctions de l'unité de refroidissement, la mise en défilement et l'arrêt des enregistreurs.

L'ensemble du matériel décrit précédemment est présenté *figure 12*.

UTILISATION DU SIMULATEUR

Méthodologie du traitement de simulation.

En raison des principes retenus pour la construction du simulateur, un cycle effectif relevé sur assemblage doit être adapté. Ceci consiste à assimiler graphiquement la loi d'échauffement à une droite en négligeant les courbures situées aux températures jugées basses par le métallurgiste. La loi du refroidissement est, par contre, intégralement conservée.

Pour les cycles à température moyenne et basse, donc fortement arrondis au sommet, la courbe au voisinage du maxima est assimilée à un ou plusieurs segments de droite. Le choix des valeurs approchées de l'intensité du courant de chauffe et de son temps d'application conduisant à la loi d'échauffement est facilité par l'usage d'abaques de chauffe.

La détermination précise des paramètres intensité et temps conduisant à la température maximale désirée est ensuite obtenue à l'aide d'un thermocouple, dont la soudure chaude est soudée à cœur d'une éprouvette de mise au point, éprouvette rigoureusement identique à celle des traitements ultérieurs. Par ailleurs, le pic du cycle thermique machine peut être ajusté en jouant sur le paramètre temps par contrôle de l'identité des structures micrographiques simulées et réelles.

Pour obtenir la loi de refroidissement complexe, il est nécessaire de se donner un catalogue de lois élémentaires valables pour un métal déterminé et un type d'éprouvette, les catalogues de lois de refroidissement élémentaires, tel celui de la *figure 11*, sont généralement établis pour des éprouvettes de ∅ 14 mm et de longueur calibrée 100 mm. La loi de refroidissement à réaliser est reportée sur un support transparent dans un système d'axe identique à celui des catalogues de lois élémentaires.

Les temps d'application et l'identité des différentes électrovannes correspondant aux segments des lois sont soigneusement notés et reportés dans les colonnes correspondantes du programme principal de la fiche de programmation.

Après détermination des programmes de chauffe et de refroidissement et consignation sur fiches, le cycle peut être très rapidement et indéfiniment exécuté dans d'excellentes conditions de reproductibilité.

Performances et limitations du simulateur.

La puissance maximale de chauffe de ce type d'appareil est de 70 kVA. Donner des performances de chauffe en degré par seconde est illusoire pour ce type de matériel car il est toujours possible d'obtenir des vitesses très grandes au détriment de la section utile de l'éprouvette.

Si l'on se fixe une éprouvette de simulation standard de ∅ 14 mm et de longueur calibrée 100 mm, la vitesse maximale sur :

— inox est voisine de 1 500°C/s,

— acier faiblement allié de 1 000°C/s.

Outre sa puissance de chauffe très importante, l'intérêt du simulateur est sa haute capacité de reproductibilité de la température maximale.

Les remarques relatives à l'étendue du domaine des vitesses de chauffage restent valables en ce qui concerne le refroidissement. Pour l'éprouvette standard, la vitesse maximale sur acier austénitique est dans le domaine 800-500°C d'environ 300°C/s. Toutes les lois plus lentes peuvent être aisément obtenues. La reproductibilité de la loi de refroidissement est excellente comme le montrent les enregistrements *figure 13.*

Des traitements isothermes sont également possibles après refroidissement à la température de maintien désirée.

L'étude des gradients thermiques au sein de l'éprouvette, au cours du traitement, est importante pour valoriser la méthode de refroidissement radial. L'étude des gradients thermiques a eu lieu avec une éprouvette standard (∅ 14 mm × 100 mm) en acier austénitique 18-10.

Les enregistrements des informations provenant de différents thermocouples montrent qu'à l'échauffement, le gradient longitudinal est rigoureusement nul pour une vitesse d'échauffement de l'ordre de 100°C/s et ceci jusqu'à la température de 1 300°C.

Au refroidissement, pour des vitesses comprises entre 20 et 400°C/s, les écarts entre deux points distants de 40 mm dépassent rarement 20°C pour les températures supérieures à 400°C. Cet écart de 20°C est d'ailleurs exceptionnel et ne se rencontre

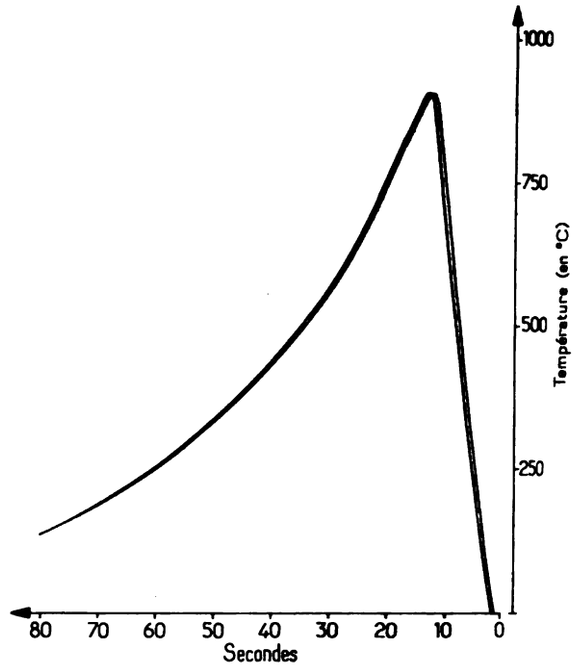


Figure 13. — Reproductibilité des cycles. Cycles réalisés sur éprouvettes ∅ 14 mm × 100 mm. Acier inox 18-10.

que de façon intermittente pour certaines températures et certaines lois. Sur la plus grande partie de la gamme des températures supérieures à 400°C, la différence de température est inférieure à 10°C.

A l'échauffement, aucun gradient thermique significatif n'est remarqué. Il existe cependant, superficiellement, une zone notablement refroidie par les pertes thermiques par convection et radiation.

Au refroidissement, pour des éprouvettes en acier austénitique et pour des températures supérieures à 400°C, nous n'avons pas observé d'écarts supérieurs à 30°C entre le centre des éprouvettes et une zone située à environ 1 mm de la surface ; cela correspond à un gradient de 5°C/mm. En réalité, le gradient n'est pas constant et l'homogénéisation de la température est rapidement inférieure à ± 10°C sous la surface. Le prélèvement des éprouvettes d'essais mécaniques conduit à enlever la majeure partie des couches superficielles pour ne conserver que le métal traité avec un écart de température inférieure à 10°C.

L'étude des gradients thermiques montre que la méthode de refroidissement radial permet d'obtenir en simulation thermique un volume de matière homogène très important (50 % du volume total). Une éprouvette standard de simulation permet la réalisation sur acier d'un volume de ∅ 13 × 50 mm contenant une structure physico-chimique homogène.

Caractéristiques fonctionnelles du simulateur.

Dimensions de l'éprouvette standard : ∅ 14 mm × 100 mm.

Volume de matière homogène traitée : ∅ 13 mm × 50 mm (50 % du volume de l'éprouvette).

Chauffage : par effet Joule en courant alternatif, par fixation d'une intensité de courant et d'un temps.

Puissance nominale 32 kVA.

Puissance maximale 70 kVA.

Intensité maximale 10 000 A sous 7 V.

Stabilisation du courant meilleure que 0,5 %.

Temps d'application du courant contrôlé au 1/100 e seconde.

Refroidissement : refroidissement radial par pulvésation d'un fluide continuellement dosé en eau et ir comprimé. Vitesse de refroidissement maxi sur prouvette standard en acier austénitique ≃ 400°C/s.

Programmation sans information en retour.

Reproductibilité : température des pics : mieux ue ± 3°C. Allure des cycles : fidèle.

Dilatométrie : l'appareil est équipé pour des études dilatométriques en cours de traitement.

CONCLUSION

En raison de la relative rusticité de réalisation due aux principes avantageux retenus, le simulateur est un appareil très sûr. Outre ses qualités d'appareil de laboratoire, le simulateur est apte aux traitements en série sous cadence soutenue sans aucune dégradation de ses avantages. Par exemple, une série de 600 éprouvettes fut traitée au simulateur, sans aucune difficulté, en 40 h de fonctionnement intensif. Il s'agissait de traiter 10 aciers austénitiques pour 60 structures déterminées de zone affectée par la chaleur.

Les résultats d'essais mécaniques, par leur excellente homogénéité, confirment la bonne reproductibilité des traitements ; ces essais ont porté sur des aciers austénitiques, ferritiques et faiblement alliés.

Dans son état de développement actuel, le simulateur est un simple appareil de traitement thermique rapide ; aucun dispositif d'essai annexe n'est actuellement étudié si ce n'est un dilatomètre longitudinal autorisant l'étude en cours du cyclage thermique.

bibliographie

NIPPES, SAVAGE. — Development of specimen simulating weld heat affected zones. *Welding Research Supplement* (novembre 1949), 543s-546s.

RYKALINE, CHROCHOROV. — Transformation de l'austénite lors du soudage par fusion (Machine de simulation). Communication présentée à la Société des Ingénieurs Soudeurs (2 décembre 1959).

REMISSO (R.). — The new technology of rapid heating and strain rate studies. Universal Cyclops Limited Corporation.

HORSHOROV, KLEBANOV. — The IMET-1 procedure and machine for studying the changes of structure and mechanical properties of metal during welding. VINITI N. M 57-134, 112, Moscou (1957).

UZUKI, TAMURA. — Synthetic heat affected zone ductility test. *Transactions of the N.R. Institute of Metals* (Tokyo), 155 s, 1, 2, 119-125.

VAGAKI, UTA, WADA. — A new apparatus for determining SH - CCT diagram for welding and its applications to high strength steels. *Transactions of N.R. Institute of Metals*, 6, n° 6 (1964).

CLIFTON, GEORGE. — The design and construction of a weld heat affected zone simulator. Co A Note mat n° 18 (février 1968).

WIDGERY (D.J.). — Weld thermal simulators : a review. *Metal Construction and British Welding Journal* (juillet 1969), 328-331.

JONCLET (C.). — L'utilisation de la simulation pour l'étude de la soudabilité des aciers. *Revue de la Soudure*, n° 2 (1969), 75-89.

CLIFTON, GEORGE. — Design and construction of a weld heat affected zone simulator. *Metal Construction and British Welding Journal* (septembre 1969), 427-431.

HESS, NIPPES. — The measurement of cooling rates associated with arc welding and their application to the selection of optimum welding conditions. *Suppl. Journal of the A.W.S.* (septembre 1943), 377s-422s.

LEVERT (D.). — Simulation des cycles thermiques de soudage. Thèse C.N.A.M. (1972).

discussion

M. MEYZAUD (IRSID, Saint-Germain-en-Laye) - L'originalité de votre appareil résidant dans son système de refroidissement, j'aurais aimé voir des exemples d'essais mécaniques réalisés à l'aide des éprouvettes ainsi traitées. En effet, la reproduction des structures relevées dans la z.a.c. a été réalisée depuis longtemps sur divers appareils.

Etant donné l'influence du bridage sur les transformations dans la z.a.c. et donc sur les structures obtenues, votre appareil ne peut reproduire réellement les structures présentes dans les soudures réelles. Que pensez-vous de ce problème ?

M. LEVERT - L'originalité de cet appareil se place également sur le moyen de contrôle de l'échauffement de l'éprouvette ainsi que sur la nature des fonctions de contrôle de température et de programmation. La quantité de structure homogène obtenue, voisine de 5 cm^3, est également une réalisation nouvelle.

L'objet de cette présentation étant le simulateur de cycles thermiques, le temps nous a manqué pour développer longuement l'aspect important de la qualité des traitements et de ses incidences sur les résultats d'essais mécaniques. Nos essais, qui ont porté sur un nombre déjà important d'éprouvettes et d'aciers différents, ne nous ont pas permis d'imputer au simulateur d'éventuelles dispersions sur les résultats d'essais.

L'influence sur la genèse des structures physico-chimiques des contraintes associées au retrait consécutif au soudage est mal connue. Dans son état actuel, le simulateur n'est pas équipé d'annexes susceptibles d'induire dans l'éprouvette un cycle de tension. Ce dispositif peut être conçu, mais il serait nécessaire dans un premier temps de se donner pour chaque structure, dont on se propose de faire l'étude, le cycle de tension associé, ce qui à notre connaissance n'a pas encore été fait.

Dans l'état des possibilités actuelles, la fabrication des structures physico-chimiques n'est réalisable que par action thermique simple et contrôle micrographique des résultats obtenus.

M. HOCHMANN (Creusot-Loire, Unieux) - Votre appareil permet-il la réalisation d'un cycle thermique se terminant par un maintien isotherme ? Par exemple, comparaison entre les deux cycles suivants de chauffage d'un acier 18-10 :

a) 1 400°C ; refroidissement très rapide jusqu'à 600°C ; maintien de 10 s à 600°C, d'une part ;

b) chauffage très rapide de l'ambiante à 600°C et le même maintien de 10 s à 600°C.

L'acier sera ainsi maintenu pendant la même durée à la température de sensibilisation, mais, dans le premier cas, au refroidissement ; dans le deuxième cas, au ch sensibilisation à la corrosion intergranulaire se férente dans ces deux cas. Votre appareil po expliquer pourquoi les zones adjacentes du cord dure ne sont pas sensibilisées et que les zones ι éloignées, réchauffées pendant le soudage de l' 600°C, le sont. La cinétique de la sensibilisatio différente suivant qu'il s'agit d'un maintien à 6 refroidissement ou après chauffage (peut-être avec la présence ou l'absence de germes).

M. LEVERT - La réalisation de maintiens isot courte durée, c'est-à-dire inférieurs à la minute, e réalisable à toutes les températures d'un cycle t une époque qui peut être antérieure ou postérie de la température maximale. Ces maintiens sont obtenus en injectant dans l'éprouvette le courant équilibrant les diverses pertes calorifiques. Les que vous suggérez entrent pleinement dans le d capacités de l'appareil. Les études que nous avo sur les aciers inoxydables austénitiques de typ nous permettent pas de vous fournir des éléments suffisamment étayés.

M. de LAVAREILLE (Marrel Frères, Rive-de-Gier) - homogène sur 50 mm en température, des épro traction est-elle suffisante pour obtenir un ess tion représentatif ? Ces éprouvettes ont-elles u entre les repères ?

En simulant un traitement thermique de soudu ébauche d'éprouvette de résilience (Charpy V pa vous êtes obligé de recourir à un diamètre sup ou 16 mm. Comment procédez-vous ?

M. LEVERT - La zone d'homogénéité garantie s'étend généralement au-delà des bornes annonc lution de la température dans la longueur du fût vette se fait progressivement pour n'être bru niveau des têtes. Les structures de transition sont donc situées près des têtes de l'éprouvett lation, soit à une distance de 90 à 100 mm. Au co très nombreux essais mécaniques sur matériaux simulateur, aucune éprouvette de ∅ 10 normalis rompue à l'extérieur des repères d'allongement

En ce qui concerne les éprouvettes de résilience 10 mm × 10 mm, leur prélèvement est exécuté diamètres standard de 14 mm, de manière à c angles dièdres opposés à la face entaillée soi en tolérant que les arêtes adjacentes à la fac soient légèrement chanfreinées.

Des essais de résilience comparatifs ont montré faible altération des formes de l'éprouvette n'o répercussion significative sur les résultats de l'e

étés d'un superalliage de cobalt
ant à la corrosion à chaud (*)

A. Davin
Chercheur principal au Centre de Recherches Métallurgiques (Liège)

D. Coutsouradis
Ingénieur au Centre de Recherches Métallurgiques (Liège)

L. Habraken
Professeur associé à l'Université de Liège et Directeur adjoint au Centre de Recherches Métallurgiques (Liège)

n présentée aux 11èmes Journées des Aciers Spéciaux, à Saint-Etienne, 4-5 mai 1972.

INTRODUCTION

ıpement de la technique des turbines à t les constructeurs de ce matériel à ɜs alliages capables de résister de ıante à de nombreuses sollicitations.

ord les sollicitations mécaniques telles luage, mais de plus, ils sont soumis à ɾes complexes produites par la combus- ocarbures pollués par le soufre et ıs impuretés telles que sels alcalins et ium. Il se forme alors des sulfates alca- ɜmpératures de service, provoquent des portantes.

Ce problème de corrosion est encore plus apparent dans les turbines à gaz industrielles qui emploient des combustibles moins purs et également dans les turbines marines qui absorbent de l'air salin.

Pour résister aux sollicitations mécaniques, il a été nécessaire d'augmenter la résistance des alliages utilisés. Les alliages de nickel ont été durcis par formation de phase γ' (Ni_3Al) et leur teneur en chrome a été fortement abaissée. C'est ainsi que les alliages les plus résistants que l'on trouve actuellement ont de faibles teneurs en chrome — par exemple 3 % — alors que les super-alliages de nickel plus anciens contenaient aux environs de 20 % de chrome. De ce fait, leur résistance à la corrosion a été fortement

effectuées sous les auspices du Centre d'Information du Cobalt (CIC) et de l'Institut pour l'Encouragement erche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture (IRSIA).

TABLEAU I :

Alliage	Co	Cr	Ta	Al	Ni	Y	W	B	Zr	
S 582	bal	25	5	3	10	0,2	7	—	—	.
S 583	bal	25,3	5	2,6	9,6	0,17	7,4	0,11	0,86	0
S 584	bal	25	5	3	10	0,17	—	—	—	0
S 588	bal	24,8	4,8	2,8	9,8	0,16	7	0,10	0,46	0
S 589	bal	25	5	2,7	10,1	0,19	6,9	0,05	0,17	0,
S 590	bal	25	5	2,9	9,8	0,15	7,1	0,11	0,44	0,
S 591	bal	25	4,8	2,7	9,8	0,17	7,7	0,11	0,86	0,

diminuée étant donné que cet élément est essentiel pour obtenir une résistance satisfaisante.

Les alliages de cobalt, par contre, ont conservé une teneur relativement élevée en chrome (environ 20 %) et, de ce fait, possèdent une résistance à la corrosion à chaud assez bonne.

Compte tenu de l'évolution des sollicitations dans certains environnements, on demande néanmoins des alliages ayant une résistance à la corrosion à chaud plus importante.

Le but de ce travail était de mettre au point un alliage de cobalt possédant une résistance à la corrosion élevée et présentant également des propriétés mécaniques acceptables afin d'être utilisés à des endroits peu sollicités mécaniquement, mais où la résistance à la corrosion est le facteur prépondérant.

Dans ce but, nous avons étudié de manière plus approfondie l'alliage S 57 (25 % de chrome, 3 % d'aluminium, 5 % de tantale, 0,5 % d'yttrium et 10 % de nickel) dont la composition s'était dégagée d'une étude antérieure (1) (2) sur l'influence d'additions ternaires sur la corrosion sèche d'alliages de cobalt.

Préparation des alliages.

Les alliages examinés ont été élaborés en charges de 15 kg dans un four à induction sous vide à partir de matières premières pures. Ils ont été coulés sous forme de barreaux de 18 mm de diamètre et 80 mm de longueur. Les divers essais décrits plus loin ont été effectués sur des alliages à l'état brut de coulée. Le *tableau I* reproduit la composition chimique des alliages étudiés.

Résistance à l'oxydation et à la corrosion à chaud de l'alliage S 57.

La résistance à l'oxydation sèche de cet alliage a été étudiée au moyen d'une thermobalance à 1 000, 1 100 et 1 270°C. Les courbes d'augmentati poids en fonction du temps sont indiquées *figure 1*. On voit qu'aux trois températures cc rées, la résistance de cet alliage est très élevée ainsi qu'à 1 000°C après 72 h, le film d'oxyde est très mince et transparent ; ce fait est pro ment dû à la formation d'un film d'Al_2O_3 très p teur.

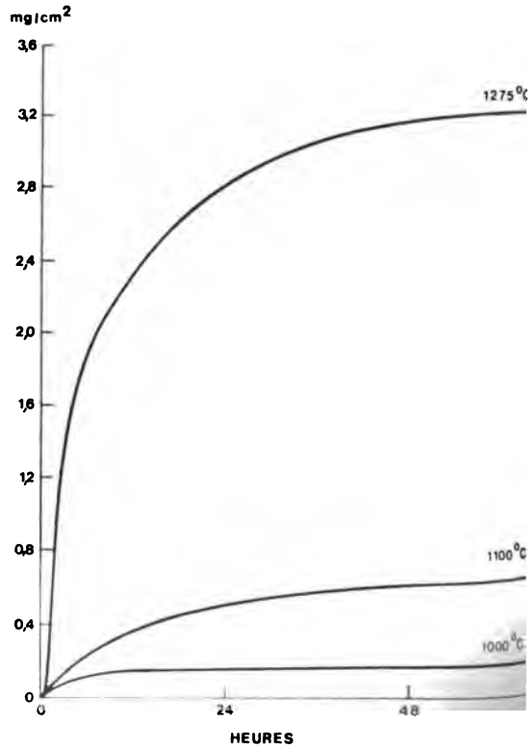


Figure 1. — Oxydation isotherme 25Cr-5Ta-3Al-0,5Y-10Ni) à diverse calme.

ostructure et propriétés mécaniques.

i l'on examine la structure de cet alliage, il appa- qu'il est constitué d'une solution solide Co-Cr, phase Co_2Ta et Co_3Ta. La résistance mécanique et alliage a été étudiée par essais de traction ipérature ambiante et à haute température et par s de fluage à 800 et 950°C. Les résultats obte- sont reportés au *tableau II*.

es résultats ont montré que si les propriétés à ction de l'alliage expérimental étaient à peu près alentes aux propriétés de l'alliage X-40, sa résis- au fluage était nettement inférieure. Les durées e observées à 800 et 950°C sous des charges 0 et 6 kg/mm² sont faibles.

misation de la composition.

ous avons donc tenté d'améliorer cette résis- mécanique par addition d'éléments qui, soit dur- nt la matrice tel que le tungstène, soit forment carbures ou des composés intermétalliques. Des ions simples de Ti, C et W ont été effectuées. résultats ont montré que seul le carbone aug- mentait la résistance au fluage, mais cela uniquement à 950°C sous une charge de 8 kg/mm². A 800°C, sous une charge de 20 kg/mm² son influence était nulle.

Afin d'améliorer la résistance au fluage à 800°C, divers éléments ont été ajoutés à l'alliage S 57 contenant du carbone. Le choix final s'est porté sur le tungstène, le bore et le zirconium.

Les propriétés mécaniques déterminées sur les alliages S 582 et S 583 ont montré que l'addition simultanée de bore, carbone, zirconium et tungstène améliorait les propriétés de traction et de fluage de l'alliage S 57.

Afin d'optimiser la composition de l'alliage S 583, diverses teneurs en bore, zirconium et carbone ont été envisagées. Les compositions de ces alliages sont indiquées au *tableau I*. Les résultats d'essais de traction et de fluage effectués sur ces nouvelles nuances ont montré que seul l'alliage S 583 présentait des propriétés acceptables. Une diminution de la teneur en bore, en carbone ou en zirconium entraine une chute des caractéristiques de fluage de cet alliage. Les résultats observés sont mentionnés aux *tableaux III* et *IV*.

En ce qui concerne les propriétés de traction, la charge de rupture diminue lorsque la teneur en ces éléments d'addition est abaissée. Seul l'allongement à la température ambiante et à haute température est augmenté lorsque la teneur en carbone est abaissée de 0,6 à 0,4 %. De même, une diminution de la teneur en bore ou en zirconium améliore légèrement l'allongement à la température ambiante et à haute température.

EAU *II* :

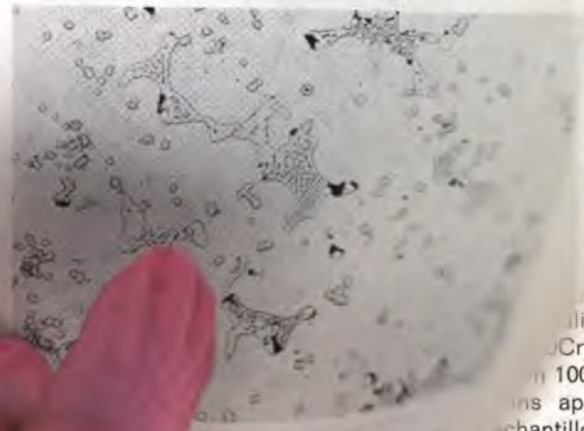
liage	Température	R (kg/mm²)	$\theta_{0,2}$ (kg/mm²)	Δ (%)	Σ (%)
40	Ambiante	79	56	10	10
	800	53,4	34,6	24,3	27,4
	850	43,1	30,5	18,8	27,3
	900	35	27,4	21,6	27,7
	950	27,2	23,9	21,6	31,8
57	Ambiante	69,5	43,8	21,4	22,2
	800	34,7	20,8	44	62,6
	850	27,5	17,4	31,9	83,1
	900	18,9	15	42,9	72,6
	950	15,1	—	54,8	80,8

re à temps.

Alliage	T°	Charge (kg/mm²)	Durée
S 57	800	20	
	950		

Microstructure de l'alliage S 583.

La micrographie de la *figure 2* illustre la microstructure de l'alliage S 583 à l'état brut de coulée.



es
gaz
lins.
Cr et
100 h.
ns après
chantillons
une grande
Inconel 713

TABLEAU III : Résistance à la traction des alliages expérimentaux.

Alliage	Température (°C)	Charge de rupture (kg/mm²)	Limite élastique (kg/mm²)	Allongement (%)	Striction (%)
S 583	24	66,3	57,3	1,3	0,8
	800	42,3	32,8	1,9	3,2
	850	42,5	28,3	5,5	7,3
	900	35,2	21,4	9,7	13,5
	950	27,3	16,6	8,9	27,3
S 584	24	61,9	48,2	2,8	2,6
	800	41,2	29,3	29,6	46,6
	850	32,5	27,7	36,2	52,6
	900	25,4	20,3	34,4	61
	950	—	20	43,1	60,7
S 588	24	70,2	55,5	2	1,2
	800	48,6	31,9	11,6	14,6
	850	37,8	27,3	1,4	2,4
	900	34,2	21,1	28,3	46,8
	950	26	15,3	21,8	56,2
S 589	24	69,7	53,9	2	1,8
	800	48,1	31,3	7,9	9,6
	850	39,2	24,8	9,4	9,7
	900	31,1	18,6	18	51,6
	950	20,9	13,7	4,2	10,5
S 590	24	62,3	48,3	1,8	1,2
	800	40,7	29,2	3,0	15,6
	850	36,1	23,9	34,1	57,2
	900	29,1	18,3	6,7	25,2
	950	23,2	13,7	38,3	75,7
S 591	24	71,6	51	4,1	6,9
	800	43,3	26,1	26,7	55,2
	850	35,3	23,4	32,1	49,7
	900	27,2	17,3	45,9	77,5
	950	19,7	12,1	29,9	78,1

TABLEAU IV : Propriétés mécaniques de divers alliages expérimentaux.

Rupture à temps			
Alliage	Température (°C)	Charge (kg/mm²)	Durée de vie (h)
S 582	800	20	115
»	950	8	130
S 584	800	20	30
»	950	8	180
S 583	800	20	525
»	800	25	60,8
»	850	17	136
»	900	12	57
»	950	8	125
»	1 000	7	135
»	1 050	5	123

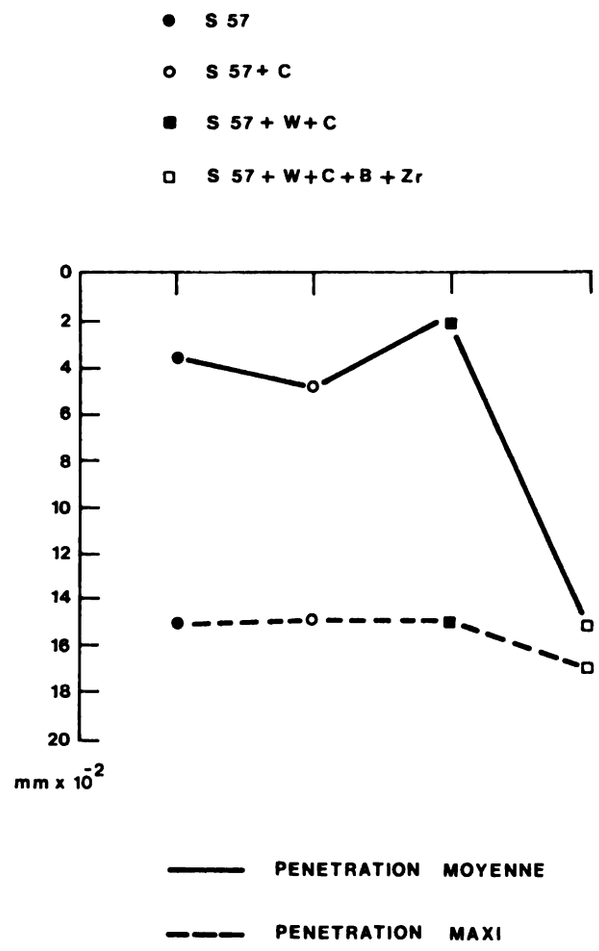


Figure 3. — Pénétrations observées sur différents alliages S 57 modifiés exposés aux gaz de combustion à 950°C pendant 500 h.

' peut observer la présence d'un eutectique lamellaire contenant des carbures $M_{23}C_6$ et probablement des carbures de zirconium. On observe également la présence de précipités linéiformes qui sont des carbures du type MC, vraisemblablement TaC.

L'extraction électrolytique de ces différentes phases et l'examen par radio-cristallographie des extraits a révélé la présence de carbure de chrome $Cr_{23}C_6$ et de carbure de tantale TaC.

Corrosion à chaud de l'alliage S 583.

La résistance à la corrosion à chaud de l'alliage S 583 a été évaluée dans les gaz de combustion pollués en soufre et en sels alcalins.

Les résultats, reportés à la *figure 3*, montrent que comparé à l'alliage S 57 et aux alliages S 582 et S 584, l'alliage S 583 présente une résistance inférieure à celle des autres alliages en ce qui concerne la pénétration moyenne. En ce qui concerne la pénétration maximale, tous les alliages ont une résistance équivalente.

Applications de l'alliage S 57 comme recouvrement.

Au vu de la bonne résistance à l'oxydation, à la sulfuration et à la corrosion à chaud de l'alliage S 57, des essais de recouvrement protecteur ont été effectués sur différents alliages de nickel ou de cobalt.

Dans ce but, des alliages synthétiques de cobalt tenant environ 10 % de chrome et l'alliage Inconel 713 ont été recouverts par projection à la torche à plasma de l'allliage S 57. Ces poudres ont été obtenues par atomisation à l'eau. Après recouvrement, des traitements de diffusion ont été effectués sous vide sur les échantillons à 1 100°C pendant 32 h.

Après quoi ces échantillons ont été soumis à des essais de corrosion cyclique à 950°C dans des gaz de combustion pollués en soufre et en sels alcalins. Dans les mêmes conditions, les alliages Co-10Cr et l'alliage Inco 713 ont une durée de vie d'environ 100 h. La *figure 4* montre l'aspect des échantillons après 350 h d'essais. On peut voir que les échantillons recouverts d'alliage S 57 ont conservé une grande stabilité de surface, tandis que l'alliage Inconel 713 est pratiquement détruit.

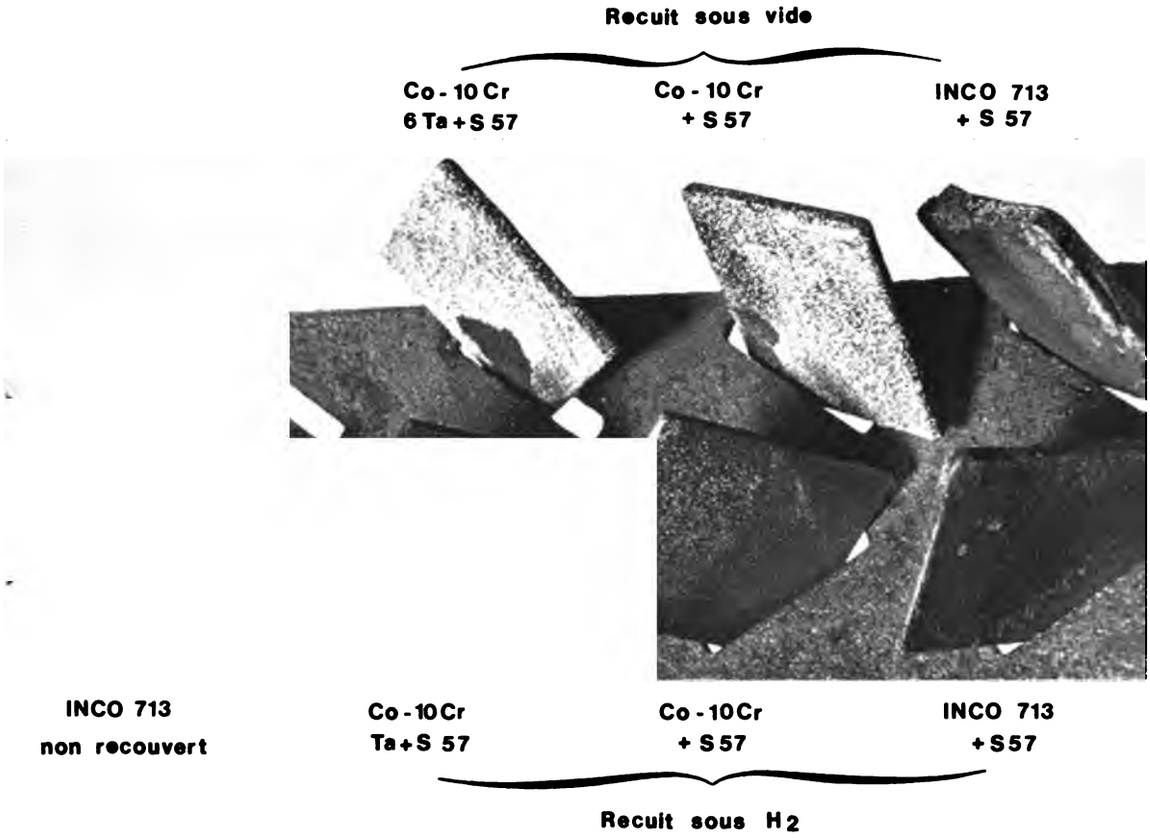


Figure 4. — Aspects d'échantillons Co-10Cr et Inco 713 recouverts d'alliage S 57 après exposition de 350 h à 950°C dans des gaz de combustion.

Après cette première période de 350 h, les essais ont été poursuivis ; les résultats ont montré que les alliages Co-10Cr recouverts d'alliage S 57 avaient une durée de vie d'environ 1 000 h.

DISCUSSION DES RÉSULTATS

Cette étude montre que l'alliage S 57 (Co-25Cr-5Ta-3Al-10Ni-0,5Y) a une excellente résistance à l'oxydation et à la corrosion à chaud.

Les augmentations de poids observées dans un domaine de température compris entre 1 000 et 1 270°C à l'air calme sont très faibles et les courbes d'augmentation de poids montrent que la vitesse d'oxydation décroit très fortement en fonction du temps. Le film d'oxyde est principalement constitué d'oxyde d'aluminium et du composé complexe $CoAl_2O_4$. Comparé à des alliages commerciaux de cobalt, cet alliage se révèle supérieur. La *figure* 5 donne les courbes d'augmentation de poids observées à 1 093°C à l'air calme pour différents alliages commerciaux fournies dans la littérature (3) (4) et les augmentations de poids observées pour l'all On remarque que, comparé à des alliages tants vu leur forte teneur en chrome te FSX 414, l'alliage S 57 se révèle supérieur

Sa résistance à la corrosion à chaud, compare à différents alliages commerciau est également excellente. Les pénétrations faibles.

En ce qui concerne les propriétés m si sa résistance à la traction est à peu valente à celle de l'alliage X-40, sa rési fluage est nettement inférieure. C'est ainsi une charge de 20 kg/mm² à 800°C, sa du n'excède pas 20 h et qu'à 950°C sous u de 6 kg/mm² sa durée de vie est d'env Cependant, par addition de 0,6 % de carb durcissant vraisemblablement la matrice pa de carbures de tantale, la résistance au l'alliage S 57 est augmentée à 950°C. A résistance de cet alliage S 57 + C reste semblable à celle de l'alliage sans carbone

Pour améliorer celle-ci, il est nécess ajouter 7 % de W, 0,10 % B et 0,8 % de Z

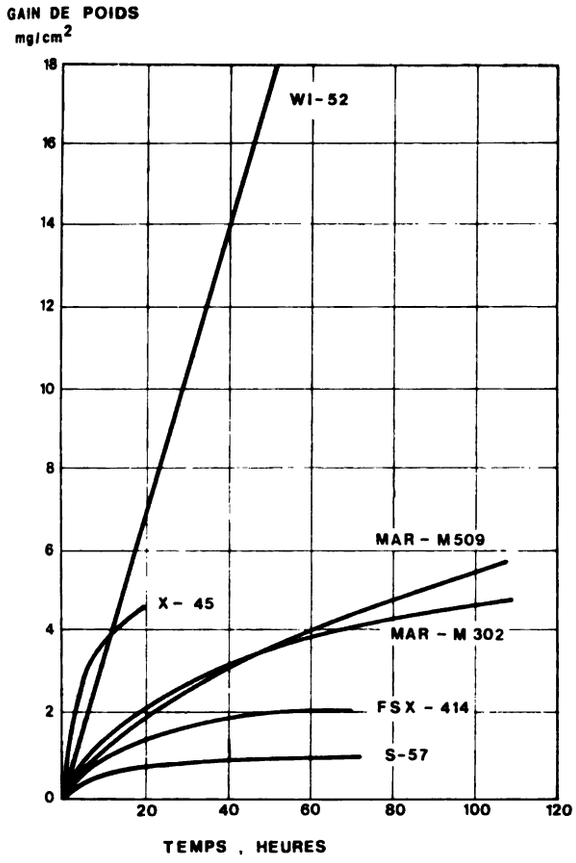


Figure 5. — Oxydation statique de divers alliages de cobalt et de l'alliage S 57 à 1 095°C dans l'air calme (3).

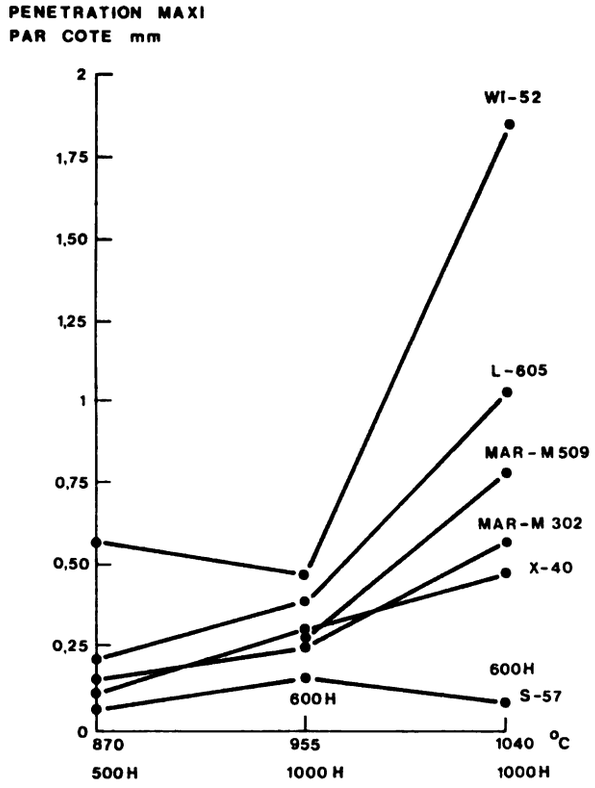


Figure 6. — Comparaison de la résistance à la corrosion à chaud de superalliages de cobalt et de l'alliage S 57 dans des gaz de combustion (3).

tance au fluage de l'alliage S 57 ainsi modifié et la résistance au fluage de l'alliage X 40 sont à peu près équivalentes, comme le montre la *figure 7* où le diagramme de Larson-Miller a été tracé pour l'alliage X 40, l'alliage Mar-M-509 (données reprises de la littérature 3, 4), l'alliage S 57 et l'alliage S 583.

Au point de vue aptitude de l'alliage S 57 à être utilisé pour le recouvrement, les premiers résultats obtenus à partir de poudres atomisées à l'eau ont montré que la résistance à la corrosion d'alliages à faible résistance à la corrosion tels que les alliages Co-10Cr et l'alliage Inco 713 était fortement améliorée par recouvrement par projection d'alliage S 57 à la

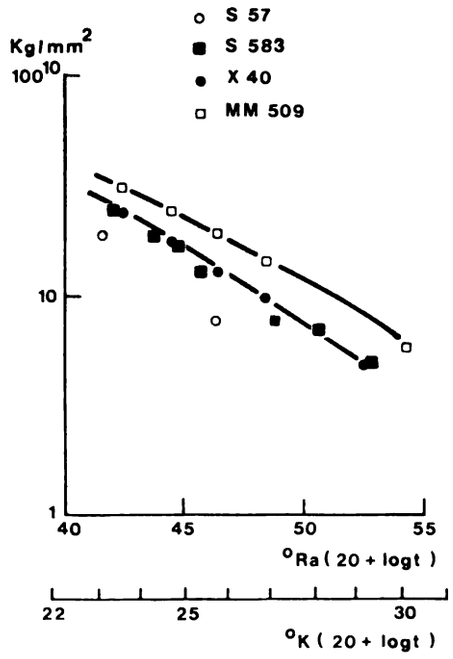


Figure 7. — Résistance à la rupture de l'alliage S 57 et de l'alliage S 583 comparé aux superalliages de cobalt MAR-M-509 et X 40 (diagramme Larson-Miller).

torche à plasma. La durée de vie des alliages recouverts est d'environ 1 000 h, alors que sans recouvrement elle se situe entre 100 et 200 h. Bien que la technique de recouvrement à la torche à plasma ne convienne pas pour le recouvrement de pièces complexes, à cause de la difficulté d'obtenir une bonne protection sur les arêtes des pièces traitées, elle a permis d'obtenir des résultats comparables à ceux obtenus sur des alliages Co-10Cr aluminisés par cémentation en caisse (5).

CONCLUSIONS

Il apparaît que l'alliage S 57 du type Co-Cr-Al-Ta-Y possède une résistance élevée à l'oxydation dans l'air calme et à la corrosion à chaud dans des gaz pollués en soufre et en sels alcalins.

Par addition de 0,6 % de carbone, 0,1 % B, 0,8 % Zr et 7 % W, il est possible de lui conférer une résistance au fluage sensiblement égale à celle de l'alliage commercial X 40 sans toutefois altérer de manière appréciable sa tenue à la corrosion à chaud.

L'alliage S 57 obtenu sous forme de poudre atomisation peut être utilisé pour des recouvreme à la torche à plasma. Les résultats obtenus ont mo que, bien que la technique de recouvrement ne pas idéale, son action protectrice augmentait la du de vie d'alliages à faible résistance d'un facteur s siblement égal à celui obtenu par aluminisation.

bibliographie

1 DAVIN (A.), COUTSOURADIS (D.), HABRAKEN (L.). - *Cobalt*, 35 (juin 1967), 69-77.

2 DAVIN (A.), COUTSOURADIS (D.), HABRAKEN (L.). - *Werkstoffe und Korrosion* (juin 1971), 517-527.

3 BELTRAN (A.M.). — *Cobalt*, 46 (mars 1970), 3-14.

4 WHEATON (H.L.). — *Cobalt*, 29 (décembre 1965), 163 170.

5 DAVIN (A.), COUTSOURADIS (D.). — *Cobalt* (jui 1972) (Note technique).

discussion

M. HOCHMANN (Creusot-Loire, Unieux) - Quel est, résumé très brièvement, l'avantage principal des superalliages à base de cobalt par rapport à ceux à base de nickel ?

Je crois que c'est, d'une part, la bonne résistance aux chocs thermiques et surtout leur bonne tenue dans les atmosphères sulfureuses (sulfate de sodium), surtout en présence de l'yttrium.

M. DAVIN - Les alliages de cobalt, vu leur teneur en chrome assez élevée, ont une meilleure résistance dans des atmosphères contenant du soufre que les alliages de nickel ; de plus, les alliages de nickel forment un eutectique Ni-Ni_3S_2 qui fond à basse température ($\simeq$ 685°C) ; par contre, les alliages de cobalt ont un eutectique (Co-Co_2S_3) qui fond à 885°C. En ce qui concerne la résistance aux chocs thermiques, les alliages de cobalt sont supérieurs aux alliages de nickel.

M. FEZENKO - Les teneurs en Al, Ta, Y et Cr (pour l'alliage carburé à 7 % W) étaient-elles supérieures à celles contenues dans les alliages choisis ?

M. DAVIN - Pour l'alliage S 583 contenant du carbone et du tungstène, les teneurs en Ta et Al étaient les mêmes que pour l'alliage S 57. Seule, la teneur en yttrium était légèrement inférieure et égale à 0,2 %.

M. FEZENKO - Quel est le comportement du niobium et du tantale en ce qui concerne la résistance à l'oxydation à haute température ?

M. DAVIN - Le tantale est très favorable tandis que niobium est plutôt défavorable.

M. FEZENKO - Quel est le rôle des teneurs respectiv en cobalt et en nickel ?

M. DAVIN - Il est difficile à préciser. Toutefois, les allia de cobalt semblent avoir une meilleure résistance aux ch thermiques et un meilleur comportement à la corrosio chaud.

M. HUBERT (Centre Technique des Applications du S dage, Saint-Ouen-l'Aumône) - Le procédé de recharger par plasma a-t-il été expérimenté pour le dépôt de l'alli S 57 ?

M. DAVIN - Les échantillons d'alliages commerciaux nickel ont été recouverts à partir de poudres d'alliages S par projection à la torche à plasma.

M. MAGNIER (Microfusion) - Peut-on envisager ces allia pour la fabrication de pièces de turbines ? Quelles les difficultés de fonderie que l'on peut attendre ? P d'yttrium ?

M. DAVIN - On peut envisager la fabrication de pièces fonderie en alliage S 57 ou S 583. Lors de la coulée vide, il ne semble pas qu'il y eut des difficultés au p de vue fonderie. Lors de coulées à l'air, on pourrait s'at dre à une perte en yttrium.

avis - congrès et manifestations

FUSION DE L'IRON AND STEEL INSTITUTE ET DE L'INSTITUTE OF METALS

Une Assemblée Générale Extraordinaire de l'Institute of Metals et une Assemblée Générale spéciale de l'Iron and Steel Institute, réunies le 22 novembre, ont voté à une très large majorité la fusion des deux instituts.

La nouvelle société ainsi constituée, qui prend le nom de **The Metals Society**, fonctionnera effectivement à partir de janvier 1974 et son siège sera à Londres, 1, Carlton House Terrace.

●

CREATION D'UNE ASSOCIATION INTERNATIONALE DE TRAITEMENT THERMIQUE DES MATERIAUX - AITT

Le 11 octobre 1971 a été fondée à Zurich l'Association Internationale de Traitement Thermique des Matériaux - AITT (International Federation for the Heat Treatment of Materials, IFHT - Internationaler Verband für die Wärmebehandlung der Werkstoffe, IVW).

En novembre 1971 à Budapest a eu lieu une séance d'information suivie, en mai 1972, de la première Assemblée des Délégués à Salzbourg, à l'occasion du XIVe Colloque International de Traitements Thermiques.

L'AITT est l'organisation collective des organisations nationales qui s'occupent de la science et de la technique du traitement thermique des matériaux, particulièrement des métaux. Elle a pour but d'établir et d'encourager les échanges internationaux d'expérience parmi les spécialistes, les scientifiques et les Instituts. Elle se propose d'atteindre son but par l'organisation de congrès scientifiques et techniques, par la participation à ces réunions, par des comités techniques, par l'organisation de recherches et d'expérimentation en commun.

En mai 1972, les pays membres étaient les suivants : République Fédérale d'Allemagne, France, Grande-Bretagne, Italie, Japon, Pays-Bas, Suède, Suisse, Espagne. Les observateurs intéressés étaient : Bulgarie, Yougoslavie, Pologne, Autriche, Roumanie, Hongrie, Union Soviétique.

Le Bureau est ainsi constitué :

- **Président** : Dr. Ing. H.U. Meyer (Zurich).
- **Vice-Président** : Prof. Dr. Ing. O. Schaaber (Brême).
- **Secrétaire** : Dipl. Chem. U. Wyss (Zurich).
- **Trésorier** : Dipl. Ing. H.J. Oesterle (Zurich).

Adresse postale de l'AITT :

Postfach 175

CH-8047 Zurich.

●

GROUPEMENT FRANÇAIS POUR LE DEVELOPPEMENT DES MESURES DE CONTRAINTES PAR RAYONS X

Le Groupement Français pour le Développement des Mesures de Contraintes par Rayons X, formé en mars 1972, s'est réuni à l'Université de Faveyrolles, accueilli par le C.E.A. de Pierrelatte.

Les principaux thèmes débattus ont été les problèmes de langage et ceux de la préparation des surfaces avant mesures.

La prochaine réunion du Groupement aura lieu le 24 et 25 mai 1973 à Monaco.

●

JOURNEES D'ETUDES SUR LES METHODES ELECTROCHIMIQUES D'ESSAI ET DE CONTROLE EN CORROSION

(Université Libre de Bruxelles, 18-19 décembre 1972)

Au cours de ces deux Journées, les méthodes suivantes seront présentées avec démonstrations expérimentales, et mises en discussion :

— Résistance de polarisation (toute la journée du lundi 18 décembre).

— Corrosion par piqûres, corrosion caverneuse des aciers et potentiel de protection.

— Corrosion intergranulaire des aciers inoxydables.

— Méthodes électrochimiques diverses (corrosion atmosphérique des aciers patinables, corrosion par piqûres de canalisations en cuivre).

Inscription au secrétariat de CEBELCOR, avenue Paul Héger, Grille 2, B-1050 Bruxelles (Belgique), tél.: 02/49-63-96.

Droits d'inscription : 2 000 F.B.

●

23e HATFIELD MEMORIAL LECTURE
(Sheffield, 9 janvier 1973)

Elle aura lieu à Ranmoor House, Université de Sheffield.

Le conférencier est le Prof. Dr. mont. E. Plöckinger, Directeur des recherches chez Gebr. Böhler AG, Autriche.

Titre de la conférence : **Un outil moderne en métallurgie : la refusion sous laitier électroconducteur.**

●

COLLOQUE SUR L'AFFINAGE SOUS LAITIER ELECTROCONDUCTEUR
(Sheffield, 10-11 janvier 1973)

Ce Colloque, organisé par l'Iron and Steel Institute et la Sheffield Metallurgical and Engineering Association, aura lieu à Ranmoor House, Université de Sheffield.

Frais d'inscription : £ 24.00.

Renseignements et inscriptions à :

Meeting Department
The Iron and Steel Institute
1, Carlton House Terrace
London SW1Y 5DB
Grande-Bretagne.

●

JOURNEES « PROPAGATION DES VIBRATIONS »
(Grenoble, 1er-2 février 1973)

Ces Journées sont organisées par la Section régionale du Sud-Est de la Société Française de Métallurgie.

Programme :

Jeudi 1er février.

— Propagation des ondes dans les milieux élastiques et viscoélastiques, par M. Bismuth (Centre de Recherches Physiques, C.N.R.S., Marseille).

— Phénomènes généraux de dissipation d'énergie au cours de la propagation des vibrations, par M. Gobin (I.N.S.A., Lyon).

— Amortissement dans les matériaux viscoélastiques, par M. Robinet (CERCMAR).

Vendredi 2 février.

— Amortissement des vibrations dans les structures mécaniques, par M. Lesueur (I.N.S.A., Lyon).

— Isolation phonique, par M. Josse (C.S.T.B., Grenoble).

— Application des méthodes vibratoires à la détermination des caractéristiques élastiques des matériaux isotropes ou doués d'une hétérotropie rectangulaire, par MM. Bourgain, Samson, Boubègue (C.E.A., Saclay).

— Ultra-sons, par Mlle Terras (C.E.A., Bruyères-le-Chatel).

— Emission acoustique, par Mme Chrétien et M. Miannay (C.E.A., Saclay et Bruyères-le-Chatel).

— Techniques de réduction des vibrations par accroissement de la dissipation énergétique des structures, par M. Martinat (Société Metravib, Lyon).

Pour renseignements complémentaires, s'adresser à :

M. Wintenberger
Aluminium Péchiney
B.P. 24
38340 Voreppe.

●

CONGRES SUR LES MODELES MATHEMATIQUES DE PROCEDES EN SIDERURGIE
(Amsterdam, 19-21 février 1973)

Faisant suite au Congrès organisé les 12 et 13 février 1969 à Londres par l'Iron and Steel Institute, cette réunion aura lieu au Centre des Congrès Internationaux à Amsterdam. Elle est placée sous la présidence du Dr. J.M. van Langen (Hoogovens).

Il y aura traduction simultanée en anglais, allemand et français.

L'après-midi du 21 sera consacré à des visites techniques (IJmuiden, Université de Delft).

Frais d'inscription : £ 50.00 (£ 34.00 pour les membres de l'I.S.I.).

Renseignements détaillés et inscriptions :

Meetings Department
The Iron and Steel Institute
1, Carlton House Terrace
London SW1Y 5DB
Grande-Bretagne.

●

SEMAINE DE LA CORROSION DU CENTRE DE THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE ET DE CORROSION
(Gainesville, 4-9 mars 1973)

Organisée par le Centre de Thermodynamique Appliquée et de Corrosion, qui est une réalisation conjointe de l'University of Florida et du Centre Belge d'Etude de la Corrosion CEBELCOR, cette manifestation comportera :

— les 5 et 6 mars : **Leçon sur la corrosion électrochimique** avec expériences de laboratoire et exemples d'applications techniques.

— les 7 et 8 mars : **Symposium sur la corrosion électrochimique.**

— le 9 mars : **Séminaires, expériences de laboratoire et visites.**

Les sujets traités pendant les Leçons, le Symposium et les Séminaires seront choisis parmi ceux suggérés avant le 1er janvier 1973 par les participants.

Renseignements auprès de :

Professor F.N. Rhines
University of Florida
Dep. of Metall. & Matls. Engr.
Gainesville, Flo. 32601
U.S.A.

ou :

Professeur M. Pourbaix
CEBELCOR
Avenue Paul Héger, Grille 2
B-1050 Bruxelles
Belgique.

●

7e CONFERENCE INTERNATIONALE SUR LES ESSAIS NON DESTRUCTIFS

(Varsovie, 4-8 juin 1973)

Les personnes désirant assister à cette conférence sont priées de demander les formulaires d'inscription à M. Evrard, Secrétaire général du COFREND, 32, boulevard de la Chapelle, 75880 Paris Cedex 18.

●

COLLOQUE SUR LA CORROSION SOUS TENSION ET LA FRAGILISATION PAR L'HYDROGENE DES ALLIAGES A BASE DE FER

(Firminy, 12-16 juin 1973)

Ce colloque international aura lieu à la Maison de la Culture de Firminy, département de la Loire.

Ce colloque est organisé conjointement par le Groupe Creusot-Loire et la Commission de Recherche de la National Association of Corrosion Engineers (N.A.C.E., U.S.A.).

Les communications sont suscitées directement par les organisateurs et le programme des séances de travail traitera essentiellement les sujets suivants :

— problèmes de la fissuration par corrosion sous tension et de la fragilisation par l'hydrogène des alliages ferreux dans les conditions industrielles ;
— modèles de fissuration par corrosion sous tension et de fragilisation par l'hydrogène ;
— aciers au carbone ;
— aciers et alliages inoxydables ;
— aciers et alliages à hautes caractéristiques mécaniques.

Tous renseignements complémentaires concernant le programme et les possibilités d'inscription pourront être obtenus auprès de :

— M. le Professeur A.W. Staehle, Department of Metallurgical Engineering, The Ohio State University, 116 W. 19th Av., Colombus, Ohio 43210 (U.S.A. 614-422-6255).
— M. J. Hochmann, Ingénieur-Conseil à Creusot-Loire, D.R.U., 42 Unieux.
— M. B. Oursel, Secrétaire Général du Colloque, Département Relations Extérieures de Creusot-Loire, 27, rue de la Rochefoucauld, Paris-9e. Tél. : 282-22-00.

●

7e CONGRES SCIENTIFIQUE INTERNATIONAL « SCIENCE OF CERAMICS »

(Antibes-Juan-les-Pins, 24-26 septembre 1973)

Ce Congrès est organisé sous le patronage de l'Association Européenne de Céramique.

Il se tiendra au Palais des Congrès à Antibes-Juan-les-Pins.

Thème général : **Comportement des produits céramiques soumis à des contraintes sévères.**

Ce thème est divisé en 4 sections :

1) Comportement des céramiques (matériaux homogènes ou composites) sous l'effet de contraintes mécaniques importantes (hautes pressions, chocs, etc.).
2) Comportement des céramiques sous l'effet des contraintes provoquées par des effets thermiques (hautes et basses températures).
3) Comportement des céramiques sous l'effet des champs électriques intenses.
4) Comportement des céramiques sous l'effet des rayonnements et des flux de particules.

Le nombre des participants est limité.

Les langues du Congrès sont : l'allemand, l'anglais et le français.

Les personnes désirant présenter un exposé doivent faire connaître avant le **1er février 1973** le titre de leur conférence et fournir **avant le 1er mars 1973** un résumé de leur communication (deux à trois pages dactylographiées dans la langue de l'exposé et en langue anglaise).

Tous renseignements, programmes et bulletins d'inscription sont à demander à la :

Société Française de Céramique
23, rue de Cronstadt
75015 Paris
Téléphone : 532-58-40

qui assure l'organisation du Congrès.

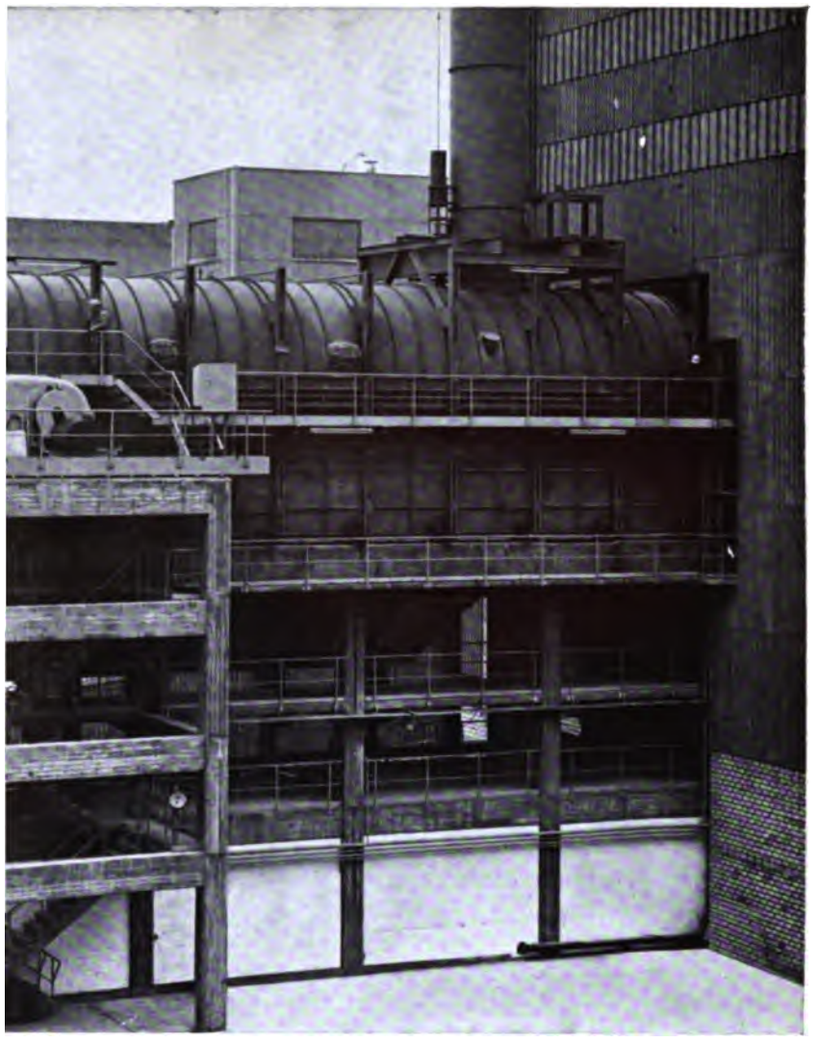
SOCIETE ANONYME FRANCAISE POUR LA FABRICATION DES
Tôles Perforées de MAUBEUGE NORD
• Tôles perforées • Tôles gaufrées
• Tôles découpées et pliées
S.A.F.T.P., 19, ROUTE D'AVESNES, MAUBEUGE (59) Tel. MAUBEUGE (20) 64-67-07 BOITE POS. 153 TELEX 82-849

TABLE DES ANNONCEURS

	Dans ce N° : Pages
A	
ALCOA	2e couv.
ALFA LAVAL	XXIII
AMSLER	
A.N.F.	
AUBERT & DUVAL	XII
B	
BABCOCK ATLANTIQUE	XIII
BALZERS	
BERLIET	
BROCHOT	XVIII
C	
CARL ZEISS	XVII
CEC	
CEM	
CETAP	
CHATILLON COMMENTRY BIACHE	XVIII
CHAUVIN ARNOUX	
CHIERS (Hauts Fourneaux de la)	
COCKERILL OUGREE	
COLLY	
COMPAGNIE EUROPEENNE DE TRAITEMENT DES EAUX	XI
COMPAGNIE FRANÇAISE DES CONVOYEURS	
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE	
COMPAGNIE TECHNIQUE DES PETROLES	
COMPTOIR DES PRODUITS MAGNESIENS	
CONILLEAU (MANUCAC)	
CREUSOT-LOIRE METALLURGIE	XXIV
D	
DANGO & DIEMENTHAL	
DAVY ASHMORE	
DELATTRE LEVIVIER	
DEMAG	
DUJARDIN - MONTBARD - SOMENOR	
DYNATEC	XX
E	
E.D.F.	
ELECTRO NITE	
ELECTRO REFRACTAIRE	
ELIOTT AUTOMATION	
F	
FERRY CAPITAIN	
F.I.C.A.	XXI
FIVES-LILLE-CAIL	
FONDERIES DE NOGENT	
FOURNIER MOUILLON	
FOURS AUBE	
FOURS ROUSSEAU	
FOXBORO	VIII
G	
GAZ DE FRANCE	
G.H.H. STERKRADE	
GLAENZER SPICER	
H	
HARTMANN & BRAUN	
HEURTEY	
HOESTEMBERGHE & KLUTSCH	
I	
INTERLABE	
INTERMED	XX
INSTRON	
J	
JEOLCO	
JEUMONT SCHNEIDER	VI
JOHNS MANVILLE	
K	
KODAK	
KONGSBERG FRANCE	XIX
L	
LABO. CAFFIN	XXII
LA DOLOMIE FRANÇAISE	
LEGENISEL & BLANCHARD	
LEITZ FRANCE	
LES ENFANTS DE MERCIER	
LUMMUS	XVI

	Dans ce N° :
M	
MACHINOEXPORT	
MACHINOEXPORT	
MACHINOEXPORT	
M.A.I.R.	
MARREL FRERES	X
MINEMET	
MINGORI	
MORGANITE CERAMIC FIBRE	
MORGAN THERMIC	XII
MOURATILLE	
N	
NEU	
NEUVES MAISONS CHATILLON (ACIERIES)	
NEWALLS INSULATION	
NEYRPIC	
NOBEL HOESCHT	XI
O	
OMNIUM D'ASSAINISSEMENT	V
ONIA GEGI	
OSI	
OZONAIR	
P	
PECHINEY-UGINE-KUHLMANN	
PEQUIN	
PHILIPS	
POLYSIUS	3e couv.
PRAT DANIEL POELMAN	
PROST	
R	
RADEX	
ROYALE ASTURIENNE	
S	
S.A.F.T.P.	XXV
SAINT-GOBAIN ELECRO-REFRACTAIRE	
SAMM	
SAULNES & UCKANGE	
SCHENCK	VII
SCHLOEMANN AG	
SCHMITZ	4e couv.
SCOM	
SECIM SPIDEM	
SECOSAR	
SEFRAM	
SETREM	
SIEMENS	
SMAP	XIV
SOCIETE FRANÇAISE DE MINERAIS ET METAUX	
SOCIETE GENERALE DES PRODUITS REFRACTAIRES	
SOCIETE METALLURGIQUE DE NORMANDIE	
SOCIETE NOUVELLE DES ACIERIES DE POMPEY	
SOFRANCE	XXII
SPRUNCK	
T	
TECHNOM	
TESTWELL	XXII
TRAYVOU	
TRINDEL	XVI
TUBES DE CHEVILLON	
TUBES DE NORMANDIE	
TUBES DE LA PROVIDENCE	
U	
UGINE GUEUGNON	
UGINE INFRA	
UGIVIS	
UGINOX	
USINOR	
V	
VALLOUREC	
VEITSCHER MAGNESIT	
VON ROLL	
W	
WENDEL SIDELOR	
WERNER PFLEIDERER	

S.I.L., 48, rue de Lancry, Paris (10e) Dépôt légal 4e trimestre n° 713 *Le Directeur de la Publication :* Max DUPON



ɹRGIQUE
FOUR A CHAUX DU MONDE

ɲ refroidis-
duction de
ɹur.
ustible, ce
ɩ élevée et
ɩ en CO_2 se
ɩn HCl en 5
er.
cuisson de
nulométrie
ble couche
bonater de
ɹe relative-

ment large.
Les pertes par les poussières et les pertes par abrasion – un critère important pour la qualité du procédé lors de la production de chaux en morceaux – sont très faibles.
Les fours LEPOL peuvent être construits pour des débits allant jusqu'à 2000 t/jour de chaux calcinée. L'alimentation du four LEPOL est automatique. Un seul opérateur par équipe est nécessaire pour conduire l'installation à partir du poste de commande.
Le four à chaux LEPOL est composé des mêmes éléments de construction que le four LEPOL à ciment qui a fait ses preuves dans des centaines d'installations.

POLYSIUS S.A.
3-7 Avenue Paul Doumer
92 - Rueil-Malmaison (France)
Tél. 977-05-03
Telex 69 329 F

POLYSIUS AG
4723 Neubeckum
(Allemagne)
Tél. (0 25 25) 711
Telex 08 921 581

POLYSIUS LTD., Ascot
POLYSIUS S.A., Madrid
POLYSIUS (PTY.) LTD.
Johannesburg

Une nouvelle cisaille volante SCHMITZ pour la découpe des tôles minces

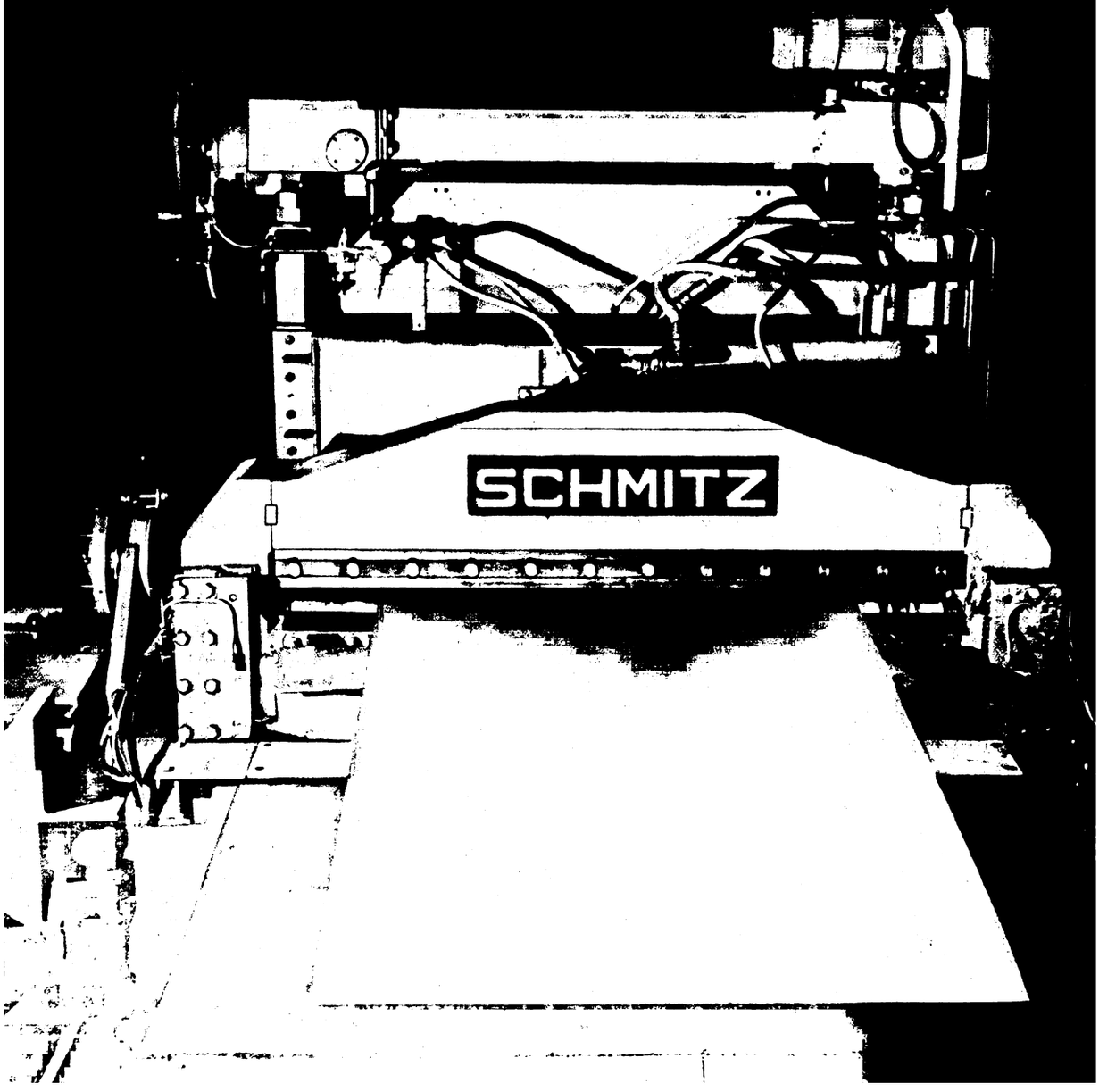
Une caracteristique essentielle de notre nouvelle cisaille volante est que l'excentrique de coupe tourne de facon continue, de sorte que les forces d'accélération du debrayage de la coupe restent faibles (brevet deposé). La construction compacte de la machine permet un petit rayon d'oscillation, et en consequence de faibles inerties. Il en résulte une marche calme pour la cisaille, un entretien réduit et une longue durée de service. La cisaille volante est l'organe essentiel d'une ligne de coupe à longueur, dont depend en grande partie la qualité des tôles coupees, et la production.

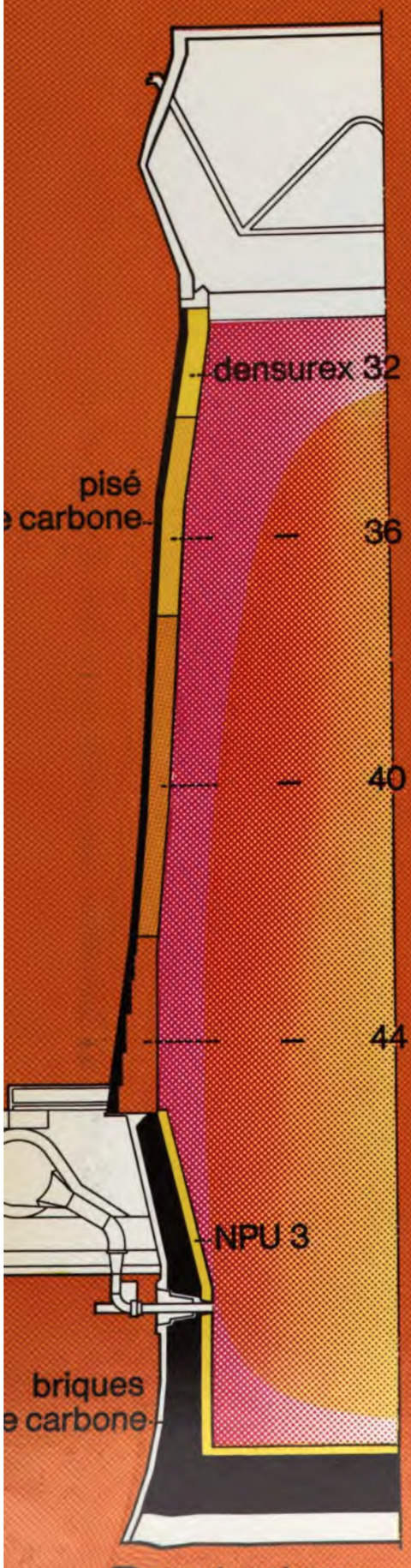
La cisaille volante SCHMITZ vous assure les avantages suivants:
des coupes exactes et perpendiculaires · des tolerances de longueur réduites (± 0,8 mm et moins) · des coupes parfaitement franches · des tôles bien planes, sans griffures · une vitesse de coupe elevee (106 m/min. maximum) · changement rapide des longueurs · reduction des rebuts par controle des longueurs, avec indication digitale des longueurs effectives · longue duree de service, grace à la construction compacte, et aux inerties réduites · prix d'achat et d'entretien reduits.

Notre programme de fabrication:
laminoirs à chaud et à froid pour toutes nuances d'aciers et metaux non-ferreux · laminoirs spéciaux (par exemple laminoirs pour cuillères et alliages pour monnaies) · lignes de refendage, lignes de coupe à longueur, lignes de preparation de bobines, lignes d'inspection et de planage par traction pour aciers et metaux non-ferreux · machines individuelles, cisailles transversales, cisailles volantes, etc.

SCHMITZ

SCHMITZ, une société du Groupe SACK.
Représentation en FRANCE: ETS. SACK S.A. · 123, Avenue des Champs-Elysées · 75008 PARIS
Telephone: 720.22.54 · Télex: 29 631 F SACK





BROHLTA

SPECIALISTE EN HAUTS FOURNEAU
ET COWPERS

qualités spécial
DENSURE

PAR EXEMPLE :

DENSUREX 44
Fe_2O_3 1,0 %
- densité 2,3 g/cm³
- porosité totale 14 %
- porosité ouverte 12
- résistance à l'éc ment à froid kg/cm
- affaissement sous ge ta 1540 °C te 1700 °C
- pauvre en alcalis
- très bonne résist à l'attaque du CO

Représenté par :
RADEX INTERNATIONAL 8 rue la Boétie - Paris 8e
Tél. : 266.59.10 - Télex : RADEXSA 65 274

revue de métallurgie

Fondée en 1904 par Henry Le Chatelier

Présidents honoraires : Eugène Dupuy, Georges Delbart

Président-Directeur Général : René Castro

REDACTION ET ADMINISTRATION : 47, rue Boissière, Paris-16e - Tél. : 553-81-30

Régisseur de la Publicité : REGIE PUBLICITE INDUSTRIELLE

36, rue du Fer-à-Moulin, Paris-5e — Téléphone 707-53-39

69e ANNÉE | DÉCEMBRE 1972 | No 12

Informations économiques

Les débouchés de la sidérurgie française en 1973 .. .. 261 - E

Les résultats du 8e Plan et les objectifs du 9e Plan quinquennal pour la sidérurgie soviétique 270 - E

Le Plan quinquennal polonais 1971-1975 .. .. 274 - E

Projet de construction d'une grande usine basée sur la réduction directe du minerai en U.R.S.S. 275 - E

La mini-usine de la Sheerness Steel Co .. .. 277 - E

Aux Etats-Unis, la sidérurgie fait appel à l'aide du gouvernement pour la lutte contre la pollution .. .. 280 - E

Mémoires

M.T. Léger, J.W. Hallock, P. Detrez : **Influence de la microségrégation et d'un traitement d'homogénéisation sur la trempabilité Jominy des aciers moulés alliés** 793

Une homogénéisation de 20 h à 1 175°C réduit le niveau de microségrégation et augmente la trempabilité Jominy. Recherche d'une relation entre l'augmentation de la trempabilité et la réduction du niveau de microségrégation des divers éléments.

S. Parent-Simonin, J.C. Margerie : **Caractéristiques mécaniques et résistance à l'usure des fontes blanches** 809

Essais d'usure par frottement abrasif et par projection de grenaille d'acier. Détermination des caractéristiques mécaniques. Etude des structures au voisinage des parties usées. Conseils pour le choix d'une nuance pour pièces soumises à des effets d'abrasion divers.

Parisien : **La coulée sous pression** 825

Domaine d'application de ce mode de coulée ; fabrication de séries, dimensions des pièces ; épaisseurs réalisables. Utilisation des alliages de plomb et étain, de zinc, de magnésium, d'aluminium, de cuivre ; alliages ferreux. Tolérances dimensionelles, dépouilles. Etats de surface à l'état brut de fonderie et après traitement superficiel.

. Portalier : **Amélioration des procédés de moulage en moules permanents** 833

Revue des divers procédés de moulage en moule permanents. Tendances générales de l'optimisation des automatismes : optimisation des cycles de moulage, choix du procédé le plus adéquat, application de plus en plus poussée des possibilités offertes par l'automation.

. Cattier : **Le moulage de précision à modèles perdus. Possibilités, limites et tendances actuelles** .. 847

Caractéristiques de la fonderie à modèles perdus : précision dimensionnelle, fini superficiel, complexité de forme des pièces. Voies actuelles de la diversification de ce type de fonderie : fonderies pour techniques avancées, pièces de construction mécanique, pièces en alliages légers, pièces en alliages de titane et autres métaux réactifs.

. Magnier : **Le moulage du titane et de ses alliages par le procédé à modèles perdus** 853

Problèmes posés par le moulage du titane : fusion sous vide, réactions entre le métal liquide et les moules. Mise au point d'une méthode utilisant un moule de graphite obtenu par le procédé de fonderie à modèle perdu. Analyse, propriétés mécaniques et état de surface des pièces ainsi obtenues.

. Oger : **Le rôle joué par la fonte à graphite sphéroïdal au cours de l'évolution des pièces de fonderie (1910-1970) vu au travers de la construction d'une pièce de voirie** 859

Historique de la fabrication des pièces de voirie à l'usine de Foug de la Société de Pont-à-Mousson. Exemple de l'évolution d'un ensemble de voirie pendant la période 1910-1969 : fermeture de chambre utilisée dans les réseaux d'assainissement.

maire des Mémoires Scientifiques 824

, Congrès, Manifestations, Bibliographie 863

2.

S.A.
.000 F
n

y Cédex
ncy

Mlle M.T. Léger, J.W. Hallock, P. Detrez : **Influencia de la microsegregación y de un tratamiento de homogenización sobre la templabilidad Jominy de los aceros amoldados aleados** 793

Una homogenización de 20 h a 1 175°C reduce el nivel de microsegregación y aumenta la templabilidad Jominy. Investigación de una relación entre el aumento de la templabilidad y la reducción del nivel de microsegregación de los diversos elementos.

Mme S. Parent-Simonin, J.C. Margerie : **Caracteristicas mecánicas y resistencia al desgaste de las fundiciones blancas** 809

Ensayos de desgaste por frotamiento abrasivo y por proyección de granalla de acero. Determinación de las caracteristicas mecánicas. Estudio de las estructuras junto a las partes desgastadas. Consejo para la elección de un tipo para piezas sometidas a efectos diversos de abrasión.

J. Parisien : **La colada bajo presión** 825

Dominio de aplicación de este procedimiento de colada ; fabricación de séries, dimensiones de las piezas ; espesores realizables. Utilización de las aleaciones de plomo y estaño, de cinc, de magnesio, de aluminio, de cobre ; aleaciones ferrosas. Tolerancias dimensionales. Estado de superficie en el estado bruto de fundición y después del tratamiento superficial.

R. Portalier : **Mejora de los procesos de vaciado en moldes permanentes** 833

Revisión de diversos procesos de vaciado en molde permanente. Tendencias generales de la optimización de los automatismos : optimización de los ciclos de vaciado, elección del procedimiento más adecuado, aplicación cada vez mayor por las posibilidades ofrecidas por la automatización.

P. Cattier : **Vaciado de precisión a modelos perdidos. Posibilidades, límites y tendencias actuales** 847

Caracteristicas de la fundición en modelos perdidos : precisión dimensional, acabado superficial, complejidad de la forma de las piezas. Vias actuales de la diversificación de este tipo de fundición : fundiciones para técnicas avanzadas, piezas de construcción mecánica, piezas en aleaciones ligeras, piezas en aleaciones de titanio y otros metáles reactivos.

P. Magnier : **Vaciado de titanio y de sus aleaciones por el proceso de los modelos perdidos** 853

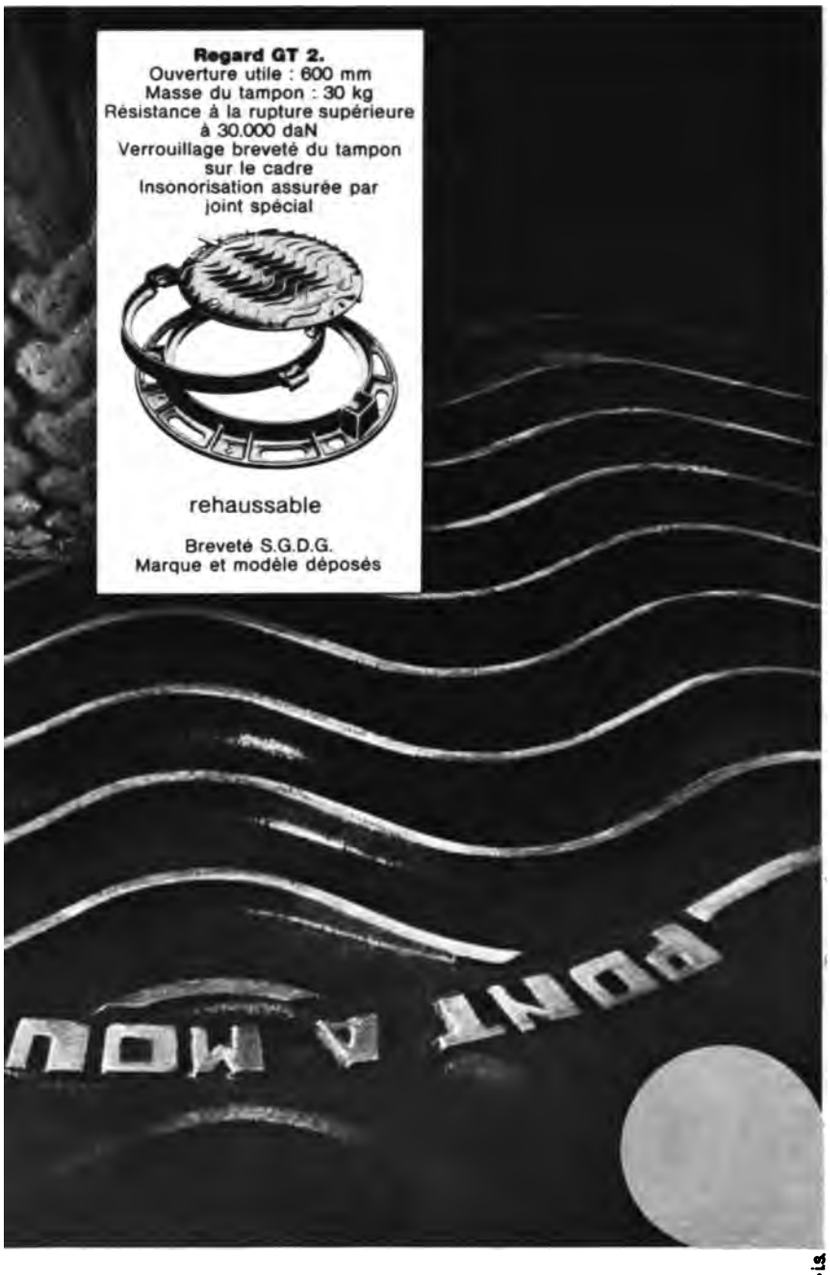
Problemas presentados por el vaciado de titanio : fusión bajo vacío, reacción entre el metal liquido y los moldes. Puesta a punto de un método utilizando un molde de grafito obtenido por el procedimiento de fundición a modelo perdido. Análisis, propiedades mecánicas y estado de superficie de las piezas asi obtenidas.

J. Oger : **Papel jugado por la fundición de grafito esferoidal en el curso de la évolución de las piezas de fundición (1910-1970) visto a través de la construcción de una pieza de vialidad** 859

Historia de la fabricación de las piezas de vialidad en la fabrica de Foug de la Société de Pont-à-Mousson. Ejemplo de la evolución de un conjunto de vialidad durante el periodo 1910-1969 : cierre de la camara utilizada en los enrejados de saneamiento.

Tarif des abonnements 1973

Abonnement à la « Revue de Métallurgie » : France, Union Française	195 F	Etranger	240 F
le numéro	19 F	le numéro	23 F
Abonnement aux « Mémoires Scientifiques de la Revue de Métallurgie » : France, Union Française	195 F	Etranger	240 F
le numéro	19 F	le numéro	23 F
Tarif couplé pour l'abonnement aux deux publications France, Union Française	365 F	Etranger	435 F



ce regard, il s'appelle GT 2.

Au delà de ce regard s'étendent les réseaux complets d'assainissement que Pont-à-Mousson fournit également (en fonte, amiante-ciment ou plastique).

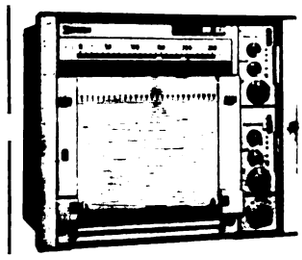
PONT-A-MOUSSON S.A.
S.A. au capital de 331.480.000 F
91, avenue de la Libération
54-NANCY - 01
lettres: Cédex 4 54017 Nancy Cédex
télex : 85003 - Pontam Nancy

ENREGISTREURS SEFRAM

pour la recherche scientifique et le contrôle industriel

POTENTIOMÉTRIQUES
depuis 1 mV pour 250 mm
SERVOTRACE 1 voie
ou
SERVORAC à 1 ou 2 voies
temps de réponse ≥ 0,3 s.
résistance d'entrée
> 60 MΩ
décalage d'origine jusqu'à 2,5 fois l'échelle
10 calibres par commutateur
10 vitesses de papier - consommation 9VA par voie.

GALVANOMÉTRIQUES
à partir de 0,2 10^{-9} A/mm
ou 0,5 µV/mm
LUXYTRACE Y=f (x)
GRAPHISPOT à 1 voie
ou
GRAPHIRAC à 1 ou 2 voies
Y=f (t)
millivoltmètres-microampèremètres
à 24 calibres



Enregistreur **MIXTE**
GEPERAC
- 1 voie galvanométrique sensible
- 1 voie potentiométrique rapide.

APPAREILS ANNEXES POUR ENREGISTREURS
AMPLIFICATEUR galvanométrique
"AMPLISPOT" calibres à partir de 1 µV pour 250 mm
COMMUTATEUR DE VOIES donnant 4 tracés par pointes.

OSCILLOGRAPHIQUES
multipistes à plumes
RAPIDGRAPH : 1, 2, 3, 5, ou 8 voies
scripteurs interchangeables
RAPIDTRACE à 2 voies
avec amplificateurs
calibres à partir de 5 mV/cm
pour 0 à 120 Hz

Carel publicité / 2693

SEFRAM c'est aussi les suiveurs de spot et les galvanomètres antivibratoires.

74, RUE DE LA FÉDÉRATION PARIS 15e
TÉL. 306.55.70 - TÉLÉX: 27.271 F

PECHINEY-UGINE-KUHLMA

ÉTUDES ET CONSTRUCTION D'USINES

Traitement de minerais d'uranium
Produits uranifères

PROCÉDÉS

Traitement des produits uranifères :
Minerais, Fluorures, Oxydes, etc.
Procédés spéciaux physiques et chimiques
Retraitement des combustibles nucléaires
Traitement des effluents et décontamination

RÉACTEURS NUCLÉAIRES

Etudes et participation aux constructions

APPAREILS DE MESURE ET DE LABORATOIRE

Instrumentation diverse pour emplois nucléaires
Fours de traitement thermique

MATÉRIAUX ET PRODUITS POUR L'INDUSTRIE NUCLÉAIR

• Métaux non ferreux et alliages :
Zirconium et alliages pour emplois nucléaires
hafnium, niobium, vanadium, aluminium, titane
magnésium, sodium nucléaire.

• Aciers et alliages ferreux :
Aciers inoxydables et réfractaires
Aciers résistant mécaniquement à chaud
Aciers à spécifications nucléaires particulières.

• Produits à technique spéciale de mise en forme
Profils et tubes filés
Métaux frittés compacts ou poreux
Aimants permanents.

• Produits chimiques et divers
Fluor et produits fluorés minéraux et organiques
Graphite nucléaire.

• Composés uranifères
Concentrés
Produits de pureté nucléaire
Oxydes et sels d'uranium
Isotopes du bore.

SIEGE SOCIAL :
10, rue du Général-Foy - Paris 8e
Tél. : 292-31-00

Division des recherches et développements nucléair
192, Grande-rue, 92 - Sèvres
Tél. : 626-14-00

Ponts retourneurs de brames

ualité et le prix avantageux de l'acier sont avant fonction de son processus de production et de la nalisation de ce dernier.
ponts retourneurs permettent de retourner lement et sûrement des brames d'acier d'éliminer tous défauts superficiels, en améliorant la qualité comme cela est requis pour la ıformation ultérieure. Ils assurent le déroulement inu des opérations dans l'atelier de décriquage.
qualité revêt une importance primordiale.

La construction d'engins de levage et ponts roulants destinés à la métallurgie, tout comme celle d'usines sidérurgiques, fait partie depuis toujours du programme classique Demag. Le savoir des ingénieurs d'étude Demag est donc basé sur une longue et riche expérience, ainsi que sur des connaissances et principes les plus modernes acquis tant sur le plan études que dans les domaines des applications pratiques.
Nos clients le savent et nos commandes le prouvent.

DEMAD

Lauchhammer-Division Ponts roulants d'aciéries

Repr.: DEMAG Equipements Sidérurgiques S.A.R.L. · 27, Rue de Marignan, F 75 Paris 8e · Tél. 3597524

VEB Carl Zeiss JENA

RÉPUBLIQUE DÉMOCRATIQUE ALLEMANDE

Equipement de microanalyse spectrale à laser "L M A 1"

aus JENA

METHODE

Les échantillons à analyser sont observés au microscope et l'énergie laser emprunte le même chemin optique que le microscope. Le spectre émanant de l'échantillon est obtenu à l'aide, d'une part, d'un flash laser et, d'autre part, d'une décharge électronique.

AVANTAGES DE LA METHODE

Aucune préparation particulière de l'échantillon n'est demandée et le faisceau laser permettant la micro-analyse, peut être réglé entre 10 et 250 μ.

DOMAINES D'APPLICATION

Les domaines d'application sont très vastes et nous pouvons en citer ci-après quelques-uns :

- minéralogie
- métallographie
- technique des silicates
- archéologie
- médecine y compris la biologie et la criminologie.

CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

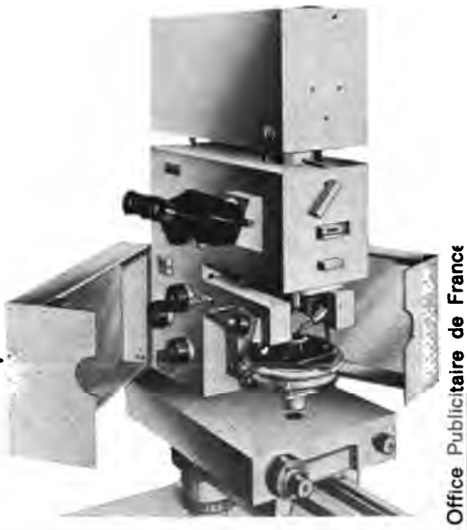
Laser à solide comportant : tête de laser, réflecteur avec lampe flash, résonateur.

Puissance maximum d'accumulation 1 000 W/s

Puissance de sortie I W/s
Temps de recharge 20 s

Haute tension entre les électrodes réglable de 0 et 5 kW.

▲ Le LMA I avec le spectrographe à réseau plan PGS 2



Vue de la tête laser et du microscope du LMA I ▶

VEB Carl Zeiss JENA

Agent Général :

COMPAGNIE GÉNÉRALE DE PHYSIQUE

48, boulevard de la Bastille
PARIS 12e
Tél. : 344.12.34

Office Publicitaire de France

MÉMENTO DES MINES & CARRIÈ

ÉDITION 1973

UTILISATION DES MATÉRIELS d'EXPLOITATION
STATISTIQUES DE PRODUCTION - NORMES

Mines de charbon, fer, potasse, uranium, etc...
Carrières, sablières.

EN SOUSCRIPTION AU PRIX DE 40 F + TVA

RÉGIE PUBLICITÉ INDUSTRIELLE - 36, rue du Fer à Moulin, 75005 PARIS - Tél.

LA DOLOMIE FRANÇAISE

Briques de Dolomie

Convertisseurs - Voûtes de fours électriques
Chenaux et poches de coulée

LA DOLOMIE FRANÇAISE
Direction des Ventes
39, rue Erlanger — 75016 PARIS
Téléphone : 525-00-93 - Télex : 62921

PURES
SAINES
PRÉCISE
CONSTAN

Toutes les fontes neuve

DE
et I

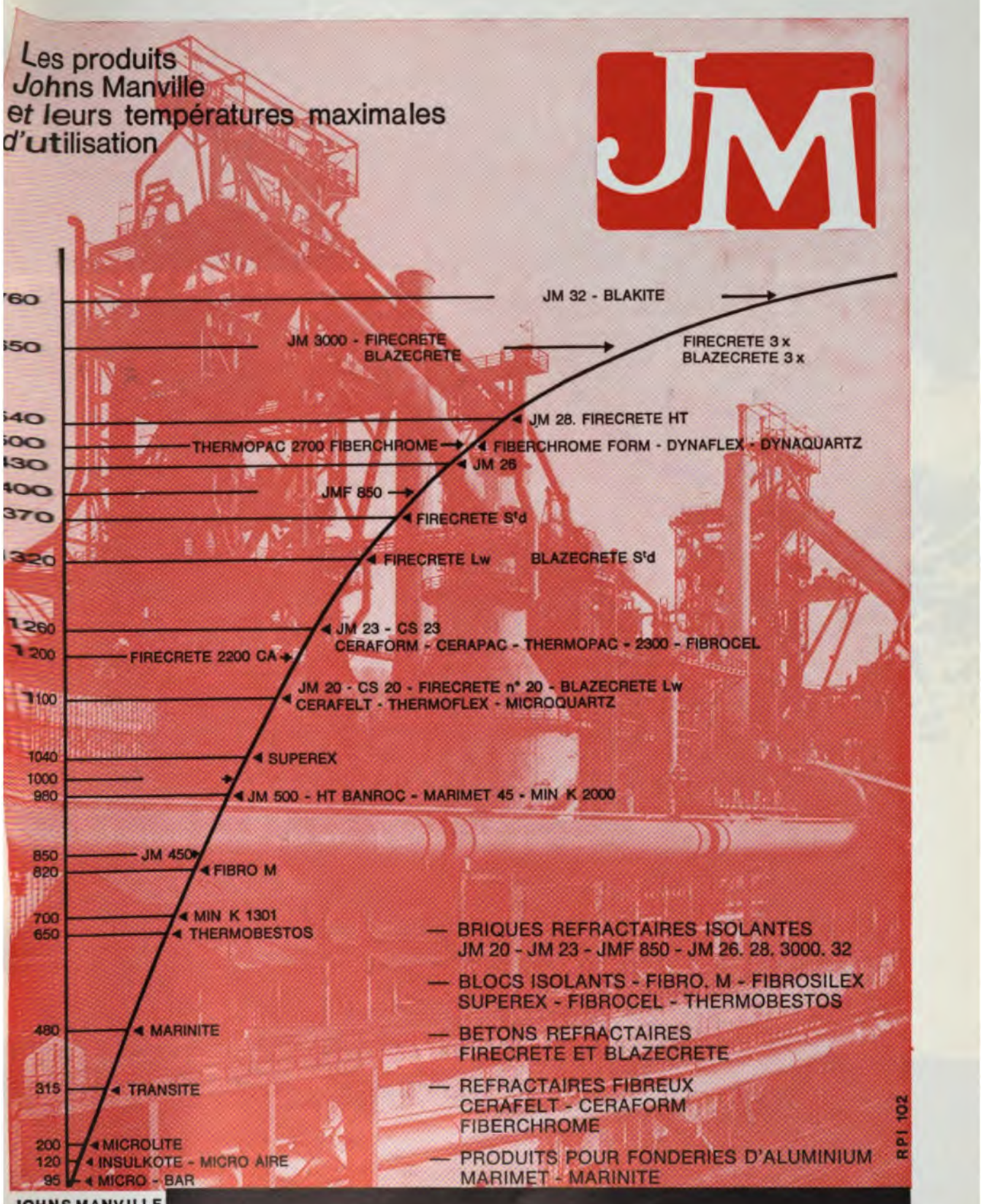
- Phosphoreu
- Semi-phosp
- Hématites
- Fontes à c particulière
- Fontes affi
- Alliées, et

HAUTS FOURNEAU

SAULNES et UCK

6, RUE DARU

TÉL.



JOHNS MANVILLE
JM
PRODUCTS

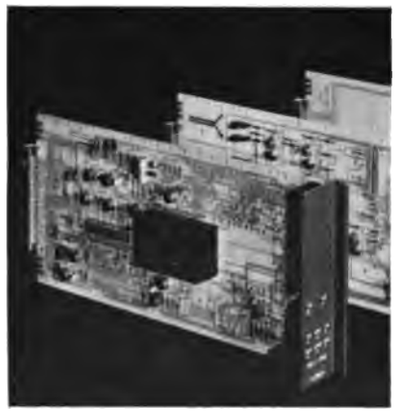
JOHNS-MANVILLE
DE FRANCE

9-11, rue du Colonel de Rochebrune
92 - RUEIL-MALMAISON
Tél. : 967.50.00 ★ 967.84.75
Télex : Johnmanvil 60.089 Rueil

Maintenant toes les systèmes de régulation électronique tiennent dans un jeu de 17 cartes.

C'est le nouveau pas franchi par Foxboro dans le domaine de la régulation industrielle.
Un pas décisif : **SPEC 200,** un ensemble électronique simplifié capable de résoudre tous les problèmes de contrôle et de régulation et d'abaisser les coûts d'installation et d'exploitation.

A la base de **SPEC 200:** une idée radicalement différente qui permet l'utilisation de 17 platines-circuit embrochables. Les nombreuses combinaisons possibles engendrent, selon vos besoins spécifiques, les diverses fonctions : conversion de signaux, régulation, calcul analogique...



Une platine-circuit embrochable par fonction.

Grâce à cette conception modulaire originale, le **SPEC 200** apporte une flexibilité dans l'étude et une facilité d'exploitation jamais atteintes. C'est la solution d'aujourd'hui pour la régulation des usines productrices d'énergie ou de transformation : chimie, pétrole et gaz, industrie papetière, métallurgie, industrie alimentaire, textile, etc.

Système analogique présenté sous forme d'un ensemble complet, le **SPEC 200** est aussi parfaitement compatible avec les calculateurs numériques. C'est le rôle d'Interspec, sous-ensemble de liaison du **SPEC 200,** qui constitue un véritable interface entre les domaines analogiques et numériques. Avec le **SPEC 200** Foxboro vous offre la régulation "à la carte".

SPEC 200

FOXBORO

FOXBORO FRANCE S.A.
92 bd Victor-Hugo 92 - Clichy Tél. 270.63.00

6 agences en France : Paris-Clichy, Lyon, Strasbourg, Arras, Aix-en-Provence, Nantes.

informations économiques

France

Les débouchés de la sidérurgie française en 1973

L'inflation généralisée qu'a connue le monde occidental en 1972 devrait se poursuivre en 1973 à un rythme à peine ralenti. En effet, bien que l'on s'oriente vers une politique antiinflationniste concertée entre les différents pays, les masses de liquidités insufflées dans les économies en 1972 ont été extrêmement importantes et au moins deux limitations à une politique très restrictive s'imposent aux divers gouvernements : la précarité de l'équilibre monétaire international et le souci qu'ont certains pays de soutenir leur économie après une année 1972 médiocre. Dans ce cadre inflationniste, une reprise est attendue dans la plupart des pays, surtout au niveau de la demande d'investissements, bien que les symptômes d'une telle reprise soient faiblement discernables en ce moment.

Dans un contexte international plus stimulant que cette année, l'évolution de l'économie française devrait rester satisfaisante dans son ensemble si le gouvernement parvient à maintenir l'inflation dans des limites comparables à celles de nos pays voisins, c'est-à-dire sans trop grever notre compétitivité relative. Avec cette hypothèse, on prévoit pour 1973 une accélération de la progression de la consommation en volume, une nouvelle décélération des investissements et une amélioration légère du taux de couverture des importations par les exportations. Au niveau de la Production Intérieure Brute en tenant compte d'une augmentation en volume de la formation de stocks, on peut s'attendre à un taux d'expansion légèrement plus important qu'en 1972 et de l'ordre de 6 %.

L'évolution des branches utilisatrices d'acier montrerait cependant une progression moindre qu'en 1972. Les industries de biens d'équipement verraient la moindre progression de leur demande intérieure en partie compensée par des progrès considérables enregistrés ces dernières années à l'exportation par les industries produisant des biens de consommation durables, il faut s'attendre en 1973 à une meilleure tenue du marché intérieur. L'activité dans la construction serait en moindre accroissement qu'en 1972 et la progression des industries de la première transformation de l'acier serait inférieure à celle connue en 1972 (accentuée du fait que 1971, année de déstockage, avait été médiocre).

La consommation réelle d'acier progresserait de 4,7 % en 1972 et de 3,9 % en 1973. Après le déstockage connu en 1971, les stocks des utilisateurs ont continué à décroître pendant la première partie de 1972, tandis que ceux du négoce au contraire augmentaient. Au milieu de l'année, on peut penser que les stocks des utilisateurs avaient atteint un niveau normal, voire bas, pour certains produits. Une certaine reconstitution semble avoir commencé au second semestre. On assisterait en 1973 au moins à une augmentation des stocks due aux nécessités techniques. Avec cette hypothèse, la consommation apparente qui aurait progressé de 8,4 % en 1972 augmenterait de 5,5 % en 1973.

Les importations de produits sidérurgiques ont fortement progressé en 1972 et les caractéristiques de marché de certains produits ainsi que l'accroissement des livraisons de certains pays tiers sur le marché français amènent à penser que le taux de pénétration se maintiendra en 1973 à un niveau proche de celui atteint en 1972.

La consommation apparente des principaux pays clients de la sidérurgie française augmentera en 1973 plus que leur consommation réelle. Toutefois par rapport à 1969, la progression serait pour l'ensemble de ces pays de 6,5 %, soit moins de 2 % l'an en quatre ans. Comme les capacités de production se sont certainement accrues à un rythme plus élevé pendant la même période, il en résulterait une situation qui demeurerait difficile sur le marché mondial de l'acier. Dans ces conditions, compte tenu des problèmes spécifiques à certains marchés comme celui des Etats-Unis, on peut s'attendre à une progression d'au moins 4 % de nos exportations de produits finis.

Le solde de nos échanges de demi-produits, étant donné les caractères techniques de ces échanges, devrait s'améliorer en 1973 et devenir pratiquement équilibré, alors qu'il aura été déficitaire de près de 400 000 t d'équivalent acier brut en 1972.

Au total, en tenant compte des différents éléments dont on dispose actuellement, la production française d'acier brut en 1973 devrait se situer aux alentours de 25,5 millions de tonnes.

LA PRODUCTION

Production sidérurgique française au mois de novembre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Novembre 1972	11 mois 1972	Novembre 1971	11 mois 1971	Variation 11 mois 1972 / 11 mois 1971
Fonte brute	1 656	17 371	1 568	16 730	+ 3,8 %
Acier brut	2 113	21 989	1 999	20 853	+ 5,4 %

Production d'acier des pays membres de l'Institut International de l'Acier (I.I.S.I.).

(en 1 000 tonnes)

Pays	Octobre 1972	Octobre 1971
France	2 214	2 109
Belgique	1 277	1 019
Allemagne	3 955	3 197
Italie	1 781	1 615
Luxembourg	476	428
Pays-Bas	468	496
Total CECA	10 172	8 866
Autriche	359	324
Danemark	47	45
Finlande	138	119
Norvège	84	80
Espagne	863	723
Suède	494	462
Grande-Bretagne	2 420	1 975
Canada	875	956
Etats-Unis	10 563	7 321
Argentine	193	169
Brésil	583	558
Chili	57	56
Mexique	412	347
Venezuela	90	79
Australie	647	601
Inde	576	468
Japon	8 798	7 637
Afrique du Sud	446	437
Total	37 814	31 224

LES APPROVISIONNEMENTS

Production de minerai de fer au mois d'octobre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Octobre 1972	10 mois 1972	Octobre 1971	10 mois 1971	Variation 10 mois 1972 / 10 mois 1971
Minerai de fer marchand	4 864	45 038	4 965	46 357	— 2,6 %

LES TRANSPORTS

Trafic sur la Moselle canalisée au mois d'octobre 1972.

(en 1 000 tonnes)

	Octobre 1972	10 mois 1972	Octobre 1971	10 mois 1971	Variation 10 mois 1972 / 10 mois 1971
Exportations de France	182	2 957	222	2 984	— 0,9 %
Importations en France	139	2 891	160	3 616	— 20 %
Trafic total	321	5 848	382	6 600	— 11,3 %
Trafic effectué par la sidérurgie	69 %	76,6 %	70,6 %	83,7 %	— 15,7 %

LE MARCHE

Exportations sidérurgiques françaises au mois d'octobre 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Octobre 1972	10 mois 1972	Octobre 1971	10 mois 1971	Variation 10 mois 1972 / 10 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	24	233	26	248	— 6,1 %
	Aciers courants	230	2 543	257	2 387	+ 6,1 %
	Aciers spéciaux	18	175	15	134	+ 30,6 %
	Total	272	2 951	298	2 771	+ 6,5 %
Zone Franc	Fontes	—	—	—	—	—
	Aciers courants	46	398	34	325	+ 22,5 %
	Aciers spéciaux	—	3	—	3	—
	Total	46	401	34	328	+ 22,3 %
Pays tiers	Fontes	7	95	5	68	+ 39,7 %
	Aciers courants	309	2 794	263	2 835	— 1,5 %
	Aciers spéciaux	12	97	9	86	+ 12,8 %
	Total	328	2 986	277	2 989	— 0,1 %
Tous pays	Fontes	31	328	31	316	+ 3,8 %
	Aciers courants	585	5 735	554	5 547	+ 3,4 %
	Aciers spéciaux	30	275	24	223	+ 23,3 %
	Total	646	6 338	609	6 086	+ 4,1 %

Importations sidérurgiques françaises au mois d'octobre 1972.

(en 1 000 tonnes)

Pays	Produits	Octobre 1972	10 mois 1972	Octobre 1971	10 mois 1971	Variation 10 mois 1972 / 10 mois 1971
Pays C.E.C.A.	Fontes	36	286	28	166	+ 72,3 %
	Aciers courants	579	5 190	506	4 393	+ 18,1 %
	Aciers spéciaux	23	258	23	224	+ 15,2 %
	Total	638	5 734	557	4 782	+ 19,9 %
Pays tiers	Fontes	2	29	1	24	+ 20,8 %
	Aciers courants	64	497	48	419	+ 18,6 %
	Aciers spéciaux	8	59	5	45	+ 31,1 %
	Total	74	585	54	488	+ 19,9 %
Tous pays	Fontes	38	325	29	190	+ 71,1 %
	Aciers courants	643	5 687	554	4 813	+ 18,2 %
	Aciers spéciaux	31	317	28	269	+ 17,8 %
	Total	712	6 329	611	5 272	+ 20,0 %

INFORMATIONS COMMERCIALES

Création de Ugine Nederland B.V.

Péchiney Ugine Kuhlmann a créé à Amsterdam une filiale portant le nom de Ugine Nederland B.V. Cette société a pour objet « l'importation et la vente de produits métallurgiques et sidérurgiques ». Il s'agit d'une « antenne commerciale » représentant principalement la société Ugine Aciers S.A. Son activité concerne surtout les aciers spéciaux.

LES STRUCTURES ET LES INVESTISSEMENTS

L'EVOLUTION DES STRUCTURES.

Creusot-Loire va absorber les aciéries Bedel.

Un projet de fusion a été établi entre Creusot-Loire et les aciéries Bedel, cette dernière société apportant à Creusot-Loire l'ensemble de son patrimoine dont la valeur a été estimée à 24 926 000 F, charge pour Creusot-Loire de supporter l'intégralité du passif des aciéries Bedel (environ 21 715 000 F). Les aciéries Bedel, filiale à 100 % de Marine Firminy, avaient déjà conclu en 1969, avec la Cie des Ateliers et Forges de la Loire, un accord en vue de transférer dans l'usine de l'Ondaine de cette compagnie, leurs moyens de production d'aciers spéciaux d'outillage.

FNANCEMENT DES INVESTISSEMENTS.

Evolution des dépenses d'investissements dans l'industrie sidérurgique de la C.E.C.A.

Le record des dépenses d'investissements établi par l'industrie sidérurgique de la C.E.C.A. en 1971 avec 2,212 milliards d'unités de compte, pourrait être dépassé cette année à moins que la situation conjoncturelle moins favorable n'ait incité les entreprises à surseoir provisoirement à l'exécution de certains programmes.

Selon les prévisions établies à la fin de l'année 1971, les dépenses d'investissements pour l'année 1972 devraient atteindre 2,631 milliards d'u.c. Cette augmentation a également pour conséquence une hausse non moins importante des dépenses spécifiques d'investissements dans la sidérurgie communautaire.

Evolution des dépenses d'investissements en dollars par tonne d'acier

	R.F.A.	France	Italie	Pays-Bas	Belgique	Luxembourg	CECA
1954	11,2	11,8	8,3	8,5	6,6	8,9	10,3
1960	7,9	13,4	7,5	22,9	19,1	7,0	10,6
1965	8,5	8,7	19,4	11,9	15,5	5,4	10,8
1966	8,3	7,5	12,2	21,0	16,0	6,5	10,0
1967	6,1	8,7	7,9	27,8	10,3	3,5	8,1
1968	5,5	12,4	6,6	33,7	6,4	2,8	8,1
1969	6,8	12,4	9,7	26,9	10,3	6,2	9,7
1970	14,4	15,2	17,2	22,8	18,5	9,0	15,6
1971	18,4	23,7	30,2	26,6	15,4	8,8	21,1
1954-71	10,4	13,9	16,8	23,4	13,5	7,1	12,7

TRAVAUX NEUFS ET MODERNISATION

Signature d'un contrat de longue durée entre Wendel-Sidelor et l'Air Liquide.

Wendel-Sidelor et l'Air Liquide ont signé un contrat de longue durée pour la fourniture de 1 750 t/j d'oxygène destiné principalement à l'insuflation d'oxygène dans les hauts fourneaux.

A la suite de ce contrat, l'Air Liquide construira sur le site de Richemont, un « Oxytonne » de 1 630 t/j qui sera relié à l'oxyduc de l'Est.

Cette réalisation accroitra d'environ 25 % la capacité de production de l'ensemble du réseau lorrain qui, avec 283 km, s'étend jusqu'au Luxembourg et est rattaché au réseau sarrois.

L'entrée en service de cet « Oxytonne » est prévue pour juin 1974.

L'accroissement des besoins en oxygène de Wendel-Sidelor est lié directement à l'utilisation plus massive de fuel lourd au détriment du coke. Il s'ensuivra une suroxygénation de vent soufflé dans les hauts fourneaux.

LES TECHNIQUES

RECHERCHES ET PERFORMANCES TECHNIQUES

La commission de la CECA approuve quinze projets de recherche technique dans le domaine de la sidérurgie.

La Commission, après consultation du Comité consultatif de la CECA et sur avis conforme du Conseil, vient de décider l'attribution d'une aide financière d'un montant de 5,4 millions d'unités de compte à 15 projets de recherche dans le domaine de la sidérurgie. Les projets concernent : les traitements thermomécaniques des aciers, le profilage à froid des aciers, l'aptitude des aciers au formage à froid, la mécanisation du prélèvement de la fonte et de l'acier, les mécanismes structuraux, l'amélioration des propriétés de la fonte de moulage, les nouvelles techniques d'exploitation dans le bassin ferrifère de l'est de la France, le développement d'une méthode d'abattage du minerai de fer, la réduction directe du minerai de fer selon le procédé Purofer, le contrôle automatique de processus par calculateur.

INGENIERIE ET MATERIELS SIDERURGIQUES.

Creusot-Loire a construit une cisaille très puissante destinée au complexe sidérurgique de Fos.

L'usine de Saint-Chamond de Creusot-Loire a achevé la construction de l'une des cisailles les plus puissantes du monde. Cet engin est destiné au complexe sidérurgique de Fos.

La cisaille sera livrée début janvier 1973 à Fos.

COOPERATION TECHNIQUE.

Session 1972-1973 du centre d'études supérieures de la sidérurgie.
(17, avenue Robert-Schuman, 57000 Metz)

Cette session dite « Elaboration de la fonte et de l'acier est destinée aux ingénieurs qui, à des titres divers, s'intéressent à ces spécialités (ingénieurs de fabrication, de contrôle métallurgique, d'études industrielles).

La session est divisée en 3 cours :

— du 4 décembre 1972 au 26 janvier 1973 : formation de base (bases scientifiques des processus sidérurgiques, thermodynamique chimique, chimie physique et leurs applications).

— du 5 février au 28 avril 1973 : élaboration de la fonte, comprenant 3 chapitres :

- matières premières et préparation de la charge,
- théorie du haut fourneau,
- technologie et exploitation du haut fourneau.

— du 2 avril au 26 juin 1973 : élaboration de l'acier, comprenant 4 chapitres :

- dénaturation des matières premières, élaboration primaire ;
- mise à la nuance de l'acier, opération en poche ;
- coulée et solidification ;
- problèmes généraux (mesures, contrôle, automatisation).

Salon 1972 de l'emballage.

Le XXe Salon International de l'emballage, du conditionnement de la présentation s'est tenu du 13 au 18 novembre au Parc des Expositions de Paris à la porte de Versailles.

Sur 90 000 m² de halls et de stands, quelque 1 100 firmes y présentaient un panorama complet des différents emballages, des matériaux qui les composent et des machines utilisées pour leur fabrication, leur conditionnement ou leur impression.

L'AFNOR a organisé une journée d'étude à Pont-à-Mousson.

L'Association française de normalisation (AFNOR), l'Association des cadres de normalisation (ACANOR), le Bureau de normalisation de la sidérurgie (BNS) et l'Office technique pour l'utilisation de l'acier (OTUA) ont organisé le 24 novembre dernier une journée d'étude sur la normalisation des produits sidérurgiques et les normes concernant les aciers de grande utilisation :

— aciers de construction d'usage général,

— aciers spéciaux pour traitement thermique ;

— aciers inoxydables.

Cette journée s'est tenue au Centre culturel de l'ancienne abbaye des Prémontrés à Pont-à-Mousson.

.ES UTILISATIONS DES PRODUITS SIDERURGIQUES

L'acier dans la construction.

— *Le hangar n° 8 situé dans la zone industrielle de l'Aéroport d'Orly*, spécialement prévu pour les travaux d'entretien des Boeing 747, peut également recevoir des Airbus 300 B, Lockeed C5A et autres avions actuellement en projet. Le tonnage total d'acier mis en œuvre est de 2 200 t. Le bâtiment principal, d'une superficie de 9 300 m², est constitué par 14 portiques dont les traverses, de 78 m de portée et pesant 60 t, sont assemblées au sol et levées au moyen de deux grues.

— *Les tôleries de Saint-Nazaire* viennent de faire construire un hall de montage équipé pour la construction d'éléments de 100 t (cheminées et superstructures de navires). Pour la construction de ce bâtiment, on a fait usage de poutres reconstituées soudées pour les poteaux de l'ossature et les chemins de roulement. La couverture est en tôle d'acier nervurée prélaquée.

— *Une charpente tridimentionnelle tubulaire* d'un type original a été choisie pour le gymnase de Marly-le-Roi : huit fermes en forme de fuseaux de hauteur et de largeur décroissante supportent une couverture en tôle d'acier galvanisée nervurée. Ce type de charpente a permis d'atteindre une précision d'usinage de 1 mm sur une portée de 48 m.

— *Un bâtiment de 305 m de longueur et 79 m de largeur* est utilisé par la société des Avions Marcel Dassault-Bréguet pour monter le « Mercure ». Pour sa construction, qui a nécessité l'emploi de 4 600 t d'acier, une formule mixte treillis-poutrelle a été adoptée.

Câbles d'acier pour la tour Eiffel.

Les câbles de l'ascenseur du pilier Nord de la Tour Eiffel viennent d'être remplacés à l'aide d'un camion qui transporte sur le chantier tout l'outillage. Le remplacement de ces câbles, dont la fabrication a exigé 8 t d'acier, s'est effectué à la vitesse de 1 km/h.

Citernes métalliques.

Une société française fabrique des conteneurs-citernes en acier inoxydable pour liquides chimiques et alimentaires. La capacité nominale des citernes est de 2 000 à 10 000 l, offrant une capacité utile de 1 950 à 9 800 l.

Réservoirs en acier.

Pour l'usine de liquéfaction de gaz naturel de la Somalgaz à Skikda (Algérie), les Constructions Métalliques de Provence ont construit deux réservoirs de stockage de 56 000 m³. Ces réservoirs mesurent 46 m de diamètre et 37 m de haut. Les cuves intérieures, en acier à 9 % de nickel ont une épaisseur de 19 mm à la base et 6 mm au sommet ; leur poids total est de 700 t environ.

La même société doit construire à Barcelone un réservoir du même type, mais d'une capacité de de 80 000 m³.

INFORMATIONS DIVERSES

Absorption par Vallourec de la Compagnie Industrielle et Commerciale de Tubes.

Une assemblée extraordinaire a été convoquée le 19 décembre pour statuer sur l'absorption de la société par Vallourec.

Cette absorption s'effectuera moyennant l'attribution aux actionnaires autres que Vallourec de 67 000 actions de 100 F et ce, dans la proportion de 4 actions Vallourec pour 5 Industrielle et Commerciale de Tubes.

Le capital de Vallourec sera porté de 315 900 000 F à 322 600 000 francs.

Compagnie Industrielle et Financière de Pompey.

L'assemblée générale extraordinaire de la Société Bar-Lorforge, du groupe Pompey, s'est réunie le 20 novembre 1972 à Neuilly (92), 62, boulevard Victor-Hugo.

L'assemblée a approuvé à l'unanimité l'apport effectué par Gerlach Werke GmbH de 83 750 actions Usines Gerlach S.A. représentant 67 % du capital de cette dernière société.

En échange, la société apporteuse a reçu 213 152 actions Bar-Lorforge de 15 F nominal, soit une participation de 15,76 % dans le nouveau capital de la société, qui se trouve porté à 20 280 930 F, divisé en 1 352 062 actions de 15 francs.

Après cette augmentation, la participation totale de la Compagnie de Pompey et de sa filiale, les Aciéries du Manoir Pompey, dans le capital de Bar-Lorforge, revient de 83,89 % à 70,67 %.

Creusot-Loire Framatome.

Le 29 novembre 1972, les actionnaires de la Société Franco-Américaine de Constructions Atomiques (Framatome) se sont réunis en Assemblée générale extraordinaire, afin de décider des mesures propres à assurer le développement de cette société.

Les décisions suivantes ont été prises par l'assemblée et le conseil :

— augmentation du capital, qui est porté de 1 500 000 F à 12 000 000 de F ;

— cession d'actions entre actionnaires, de façon à assurer une majorité absolue à la Société Creusot-Loire et à permettre à la Société Westinghouse d'acquérir la participation autorisée préalablement par les autorités françaises ;

— maintien comme actionnaires des sociétés Jeumont-Schneider, Spie-Batignolles et Merlin-Gérin.

Une nouvelle technique de formage de précision mise au point par Creusot-Loire.

A l'usine de l'Ondaine à Firminy (Loire), la société Creusot-Loire vient de mettre au point, à partir d'une licence Anvar, une nouvelle technique de formage de précision : l'hydroflambage.

Cette technique permet la réalisation de pièces creuses à partir de métaux en feuilles ou en tubes, pour l'automobile, l'appareillage ménager, l'ensemble des industries mécaniques et électrotechniques.

Quelques-unes des applications en cours ou prévues sont les poulies à plusieurs gorges, les pistons de freins à disque, les boules de vannes à boisseau sphérique, les containers de gaz liquide, ainsi que d'autres pièces aux formes complexes ou précises.

Exposition industrielle française à Mexico.

Une exposition industrielle française, la plus grande qui se soit jamais tenue au Mexique, s'est tenue du 8 au 20 novembre, à l' « Auditorium national » de Mexico.

Placée sous le signe de la coopération avec le Mexique, cette exposition a réuni, sur une superficie de 15 000 m², quelque 200 exposants, qui présentaient au public mexicain un vaste panorama des plus récentes réalisations françaises.

L'acier dans l'exploration sous-marine.

4 caissons et 5 tourelles de plongée ont été commandés par la Comex (Marseille). Le caisson, de 12 m³ de volume et 5 m de long est en tôle mécanosoudée de 24 mm d'épaisseur. La tourelle de 5 m³ de volume et 1,70 m de diamètre peut être immergée à 300 m de profondeur.

L'acier dans l'industrie nucléaire.

La chambre à bulle « Gargamelle » destinée au C.E.A. mesure 5 m de long et pèse 16 t. Son corps est en acier A 52 C2. Sont en aciers fins et spéciaux : les pôles (XC 10), les pièces de liaison : biellettes (40 NC 11), paliers (35 NCD 16), les plaques de fermeture des fonds (acier inoxydable amagnétique Z 2 CN 18-10).

Etranger

Les résultats du 8ème Plan et les objectifs du 9ème Plan quinquennal pour la sidérurgie soviétique

La revue *Koks i Chimia* de juin rend compte du Congrès qui, les 13 et 14 mars 1972, a réuni à Tchéliabinsk plus de 1 200 sidérurgistes venus de toutes les républiques soviétiques. Au cours de ce Congrès, M. Kazanets, Ministre de la sidérurgie de l'U.R.S.S., a présenté un rapport sur « les tâches des sidérurgistes en vue de la réalisation du plan quinquennal 1971-1975 et du plan couvrant l'année 1972 ». On trouvera ci-après des extraits de ce rapport, tel qu'il est reproduit par la revue *Koks i Chimia*.

Résultats du plan 1966-1970.

Les capacités nouvelles mises en service pendant l'application du plan 1966-1970 ont représenté :

68,1 millions de t de minerai de fer commercialisable,

10,3 millions de t de coke,

9,7 millions de t de fonte,

17,4 millions de t d'acier brut,

14,6 millions de t de produits laminés finis,

2,5 millions de t de tubes d'acier.

La sidérurgie de l'U.R.S.S. s'est enrichie de hauts fourneaux d'un volume de 2 700 m³, de convertisseurs d'une capacité de 250 à 300 t et de laminoirs dont certains ont une capacité de 4 à 5 millions de t par an.

D'importants progrès techniques ont été réalisés en matière de préparation des charges, augmentation de la consommation d'oxygène et de gaz naturel dans les hauts fourneaux et les aciéries, augmentation du poids des lingots, augmentation de la vitesse de laminage, etc.

La qualité des produits a été améliorée et on a lancé la production de près de 250 nouvelles nuances d'acier et d'alliages. La productivité de la main-d'œuvre a augmenté de plus de 23 % et les bénéfices ont augmenté de 1/3 en 5 ans, atteignant 4,2 milliards de roubles en 1970.

Cependant, a déclaré le Ministre Kazanets, le bilan des 5 années 1966-1970 n'est pas totalement satisfaisant. Si les objectifs de production assignés aux installations en service ont été généralement dépassés, l'objectif global, par contre, n'a pas été atteint car les ressources allouées n'ont pas toujours été utilisées de la façon la plus efficace et des retards sont intervenus dans le démarrage de diverses installations nouvelles. Tout n'a pas été fait non plus pour satisfaire les besoins de l'économie nationale, tant en ce qui concerne la quantité que l'éventail et la qualité des produits sidérurgiques. La gamme des produits, leur qualité, la précision des dimensions et les finis de surfaces ne répondent pas encore pleinement aux besoins des utilisateurs.

Objectifs du plan 1971-1975.

Le nouveau plan quinquennal prévoit, pour 1975, les objectifs de production ci-après :

Types de produits	Production en millions de t		Accroissement de production 1975-70	
	1970	1975	Millions de t	En %
Coke à 6 % d'humidité	75,4	88,5	13,1	17,4 %
Minerai de fer	195,5	248,0	52,5	26,9 %
Fonte	85,9	108,5	22,6	26,3 %
Acier	115,9	146,4	30,5	26,3 %
Produits laminés	92,5	116,0	23,5	25,4 %
dont produits laminés finis	80,6	103,5	22,9	28,3 %
Tubes d'acier	12,4	17,5	5,1	41,1 %

Hauts fourneaux

En 5 ans, la consommation de gaz naturel pour la production d'une tonne de fonte devra passer de 58 à 102 m³, tandis que la consommation d'oxygène devra elle-même passer de 40 à 70 m³. Le pourcentage d'agglomérés et de boulettes dans le lit de fusion devra passer de 89 à 95 % et la température moyenne du vent de 990 à 1 100°C.

On prévoit également d'importants travaux en vue de l'application de nouveaux procédés de production de coke et de réfractaires.

Une grande importance sera accordée à la mise en application de procédés assurant un accroissement du rendement des hauts fourneaux, une diminution de la consommation spécifique de coke ainsi que l'obtention d'une fonte de composition constante et de faible teneur en soufre.

Effort de recherches

Pour résoudre les problèmes relatifs aux progrès techniques, le volume des recherches doit s'accroître de 50 %. Le Ministre a également souligné le caractère particulièrement actuel des recherches relatives à la lutte contre la pollution de l'environnement.

Automatisation

Le Ministre a déclaré que, dans ce domaine, la sidérurgie soviétique avait pris un retard qui, dès maintenant, se fait sentir dans la production : « Nous n'avons, à ce jour, aucun système suffisamment fiable pour résoudre, totalement et dans leur ensemble, les problèmes de commande automatique des processus. En conséquence, pour faire fonctionner le matériel moderne, on dépense beaucoup d'énergie physique, parfois dans des conditions très rudes ».

Accroissement de la productivité

Selon le Ministre, le succès de la réalisation du plan quinquennal dans son ensemble dépendra de la façon dont sera résolu ce problème : « Dans le secteur de la sidérurgie, la productivité de la main-d'œuvre devra augmenter de 27 % au cours du nouveau plan. Les directeurs d'usines devront assurer la mise en pratique des principes élaborés et poursuivre l'amélioration de l'organisation de la production. Des mesures efficaces devront être prises pour la mécanisation de la production et la réduction du travail manuel. On ne peut fonder ses espoirs uniquement sur une solution centralisée du problème car

beaucoup de choses peuvent et doivent être faites à l'échelon des entreprises elles-mêmes. La principale exigence de l'époque actuelle est d'assurer une meilleure gestion économique des entreprises, c'est-à-dire d'utiliser plus pleinement les ressources disponibles, d'augmenter le taux d'utilisation de installations existantes, de réduire les temps morts et d'économiser les matières premières et la main-d'œuvre ».

Selon le Ministre, l'accroissement de la productivité revêt un caractère d'actualité tout particulier pour la sidérurgie, secteur qui utilise le plus de matières premières et absorbe près de 20 % de toutes les ressources énergétiques de l'U.R.S.S. ainsi que 10 % des fonds d'investissements.

En particulier, la mise au mille de coke devra être réduite de 63 kg par tonne de fonte d'ici à 1975 (ce qui permettra d'économiser 6,8 millions de t de coke métallurgique pendant la seule année 1975).

Le Ministre a encore souligné que le strict respect des normes technologiques, l'entretien et la réparation du matériel en temps utile ont une grande influence sur le taux de consommation des matières premières, des matériaux et des combustibles : « Il faut comprendre que, sans un travail sérieux et réfléchi d'économie dans tous les domaines, on ne peut, de nos jours, diriger réellement une entreprise et accroître son rendement ».

Construction de capacités nouvelles

Au cours du plan 1971-1975, la mise en service de nouvelles installations devrait assurer plus de 50 % de l'augmentation de la production de fonte, près de 60 % de l'augmentation de la production d'acier, plus de 70 % de l'augmentation de la production de laminés et une grande partie de l'augmentation de production de tubes d'acier.

Les investissements prévus (17 milliards de roubles) dépassent de presque 1,6 fois ceux effectués au cours du plan quinquennal précédent.

Il est prévu notamment de mettre en service de nouvelles mines de fer (d'une capacité globale de 120 millions de t par an), 10 lignes d'agglomération, 18 installations de bouletage, 16 batteries de fours à coke (d'une capacité globale de 14,83 millions de t/an), 6 hauts fourneaux, 13 creusets à oxygène pur, 13 fours électriques d'aciérie et 35 trains de laminoirs ou trains à tubes.

Dans le domaine des hauts fourneaux, on prévoit de construire des appareils d'une capacité allant de 1,5 à 4 millions de t de fonte par an.

Le plan 1971-1975 est caractérisé par une forte concentration des investissements sur un petit nombre de projets très importants. Près de 60 % des sommes à investir dans la sidérurgie sont destinés à terminer la construction de 8 usines, à savoir Tcherepovetsk, Novo-Lipetsk, Krivoi-Rog, Nijni-Taguil, Azovstal (Jdanov), Tchéliabinsk, Zapsib (Sibérie Occidentale) et Karaganda.

Le Ministre a formulé à ce propos certaines critiques à l'égard des organismes chargés des études : dans bon nombre de cas, les plans sont envoyés avec retard et les projets sont souvent modifiés en cours de réalisation. En outre, les projets prévoient assez souvent des procédés à faible rendement, un équipement désuet et un bas niveau de mécanisation. Par ailleurs, a déclaré le Ministre, les directeurs d'usines ne se sentent pas assez responsables des solutions techniques adoptées dans les projets ; ils se contentent souvent d'en critiquer les défauts et d'en demander en conséquence la révision. Enfin, on relève parfois dans les projets des erreurs de calcul et des estimations inexactes du coût des installations (parfois même, ce qui est particulièrement grave, les devis sont artificiellement réduits, donnant par là même une idée fausse de la rentabilité de l'investissement prévu).

Bilan de l'année 1971.

En 1971, la production soviétique s'est établie comme suit :

		Augmentation par rapport à 1970
Minerai de fer	203,6 millions de t	8,1 millions de t
Fonte	89,2 » »	3,3 » »
Acier brut	120,5 » »	4,6 » »
Produits laminés finis	84,0 » »	3,4 » »
Tubes d'acier	13,3 » »	0,9 » »

Les objectifs du plan ont été dépassés de 2,9 millions de t pour le minerai de fer, 645 000 t pour le coke, 161 000 t pour la fonte, 695 000 t pour l'acier brut, 491 000 t pour les produits laminés (212 000 t pour les produits laminés finis) et 132 000 t pour les tubes d'acier. La production d'acier brut a été supérieure de 9 millions de t à celle des Etats-Unis.

Par ailleurs, la productivité de la main-d'œuvre s'est accrue de 5,5 % par rapport à 1970. La réduction des coûts de production a été supérieure de 149,2 millions de roubles aux prévisions du plan et les bénéfices ont été eux-mêmes supérieurs de 133,4 millions de roubles aux prévisions.

Cependant, certaines entreprises n'ont pas fonctionné de façon satisfaisante au cours de l'année 1971 : 42 d'entre elles n'ont pas respecté le plan en ce qui concerne les coûts de production, 14 n'ont pas obtenu les bénéfices escomptés et 10 autres n'ont pas atteint les objectifs de productivité de la main-d'œuvre. Des pertes de production substantielles ont été subies du fait d'un entretien insuffisant des installations et les incidents techniques sont encore trop fréquents dans les usines.

Conclusions.

Le Ministre Kazanets a conclu son exposé en soulignant que les problèmes de production ne peuvent être résolus seulement par des moyens administratifs, qu'il faudra donc améliorer le travail des responsables, ingénieurs et techniciens des entreprises en élevant leur qualification.

Au cours de la discussion qui suivit, les interventions ont porté sur l'amélioration de la qualité des produits, l'accélération du progrès technique et les méthodes de gestion.

Pour l'année 1972, les participants se sont engagés à produire, en plus du plan, 312 000 t de fonte, 500 000 t d'acier, 422 000 t de produits laminés et 220 000 t de coke, ceci par une augmentation de la productivité.

●

La production soviétique s'est établie comme suit pour les 9 premiers mois de 1972 :

Fonte	69	millions de t	Soit une augmentation d'environ 4 % sur les 9 premiers mois de 1971
Acier brut	93,7	» »	
Laminés	74,2	» »	
dont : laminés finis	65,1	» »	
Tubes	10,3	» »	(+ 3 %)
Minerai de fer	156,0	» »	(+ 3 %)

Le plan quinquennal polonais 1971-1975

Selon le plan quinquennal 1971-1975, la production polonaise d'acier brut devrait atteindre 14,7 millions de t en 1975, contre 11,8 millions de t en 1970. Cette augmentation de 25 % ne suffira cependant pas à couvrir les besoins et l'on estime qu'il sera nécessaire encore d'importer quelque 800 000 t de produits sidérurgiques en 1975 .

Le programme de développement de la sidérurgie a été établi jusqu'en 1990 et prévoit une restructuration profonde de cette industrie en vue de porter sa production à 28 millions de t/an. Le plan quinquennal 1971-1975 constitue la première étape de ce programme. La sidérurgie produira des aciers de plus haute qualité et des produits exigeant des traitements plus complexes. Il est prévu également de moderniser les usines anciennes de Silésie.

Dans le cadre du plan 1971-1975, les investissements nouveaux doivent porter surtout sur le secteur du laminage, notamment pour les aciers de haute qualité (+ 350 000 t/an), les demi-produits (+ 1 million de t), les tôles fortes (+ 700 000 t), les tôles transformateurs (+ 50 000 t), les tôles carrosserie (+ 600 000 t) et 1 train moyen, d'une capacité de 1 million de t. Il est prévu également de construire de nouveaux ateliers pour la production de bandes revêtues de haute qualité, de tubes, de profilés, d'entreprendre ou de développer la production de roues de chemin de fer, de ressorts, de barres de forage, de produits alliés ultra purs, etc.

La concentration des investissements sur les installations de laminage limitera les possibilités d'investissement aux autres stades de la production. Il est néanmoins prévu de construire plusieurs fours électriques de 100 t, une installation de dégazage sous vide et une installation d'affinage sous laitier électro-conducteur. Il est également prévu de construire 6 batteries de fours à coke. Des investissements sont prévus pour améliorer les conditions de travail, les transports intérieurs des usines et développer la mécanisation de l'automation. Des investissements dans le secteur de la lutte contre la pollution sont également inscrits dans le Plan.

Le coût de ces investissements est évalué à 49 300 millions de zlotys, soit près du double des sommes investies au cours du plan quinquennal 1966-1970. En outre, ce chiffre n'englobe pas la totalité des investissements de la sidérurgie jusqu'en 1975. L'investissement le plus important concerne la construction d'une usine à demi-produits (projet « Centrum » à Zabkovice, près de Katovice) d'une capacité de 4,5 millions de t/an, entre 1972 et 1978. Le coût en est évalué à 25 000 millions de zlotys, auxquels il faut ajouter 15 000 millions de zlotys pour l'infrastructure, etc. La construction de cette nouvelle usine a été décidée en vue d'approvisionner les laminoirs des usines anciennes de la Haute-Silésie.

Après achèvement de l'usine « Centrum », la production polonaise d'acier brut et de demi-produits devrait être concentrée vers 1980 dans 4 ou 5 usines, alors qu'actuellement, elle se répartit entre une douzaine d'usines et plus. La nouvelle usine, dont la production doit démarrer en 1976, comprendra une installation d'agglomération, 2 hauts fourneaux de 3 200 m^3, 2 creusets à l'oxygène de 350 t, 1 blooming, 1 slabbing et 1 coulée continue à billettes.

Projet de construction d'une grande usine basée sur la réduction directe du minerai en U.R.S.S.

Un accord de principe a été conclu le 16 novembre à Moscou entre les sociétés allemandes Salzgitter AG et Korf-Stahl AG d'une part, et l'organisme soviétique Metallurgimport d'autre part, en vue de la construction d'une usine sidérurgique intégrée, basée sur la réduction directe, dans l'anomalie magnétique de Koursk, en Russie Centrale.

Au stade actuel du projet, on prévoit d'appliquer le procédé de réduction directe Midland-Ross, déjà utilisé par l'usine Korf de Hambourg. L'usine aurait une capacité de 5 millions de t/an de boulettes pré-réduites et 3 millions de t/an de produits laminés (fers moyens et tôles fortes de haute qualité). Les investissements requis seraient d'au moins 3 milliards de DM et l'on pense que les commandes passées à l'industrie allemande pourraient atteindre quelque 2 milliards de DM.

De même que les accords pour des livraisons de tubes allemands en échange de gaz naturel soviétique, l'opération serait financée à long terme par des banques allemandes. Le paiement des livraisons allemandes s'effectuerait sous forme de livraisons de boulettes pré-réduites, à la cadence de 2 millions de t/an pendant environ 10 ans.

Au cours des conversations préliminaires, on avait d'abord envisagé d'implanter la future usine en Carélie soviétique, où l'on trouve les gisements de minerai de fer de Kostamo (à la frontière finlandaise), gisements qui ne sont pas encore en exploitation. Cependant, le choix s'est finalement porté sur l'anomalie magnétique de Koursk pour les raisons suivantes :

— la région de Koursk dispose d'importants gisements de minerai de fer de haute qualité et semblant bien convenir pour la réduction directe, et la production de minerai de Koursk doit être portée à 25 ou 30 millions de t/an au cours des prochaines années ;

— la région de Koursk dispose également de gaz naturel permettant donc l'application du procédé Midland-Ross ;

— l'infrastructure est beaucoup plus développée dans la région de Koursk que dans la Carélie ;

— la région de Koursk dispose déjà d'une industrie sidérurgique, ce qui devrait faciliter le recrutement de main-d'œuvre qualifiée.

Il est sans doute encore trop tôt pour savoir à quelle date les travaux pourraient effectivement commencer, un tel projet exigeant une préparation minutieuse. D'autre part, les banques allemandes n'ont pas encore été contactées et l'on ne sait donc pas encore quel groupe bancaire pourra pré-financer le projet. Il est probable que les négociations à ce sujet seront longues et difficiles.

Selon une déclaration du Dr. Birnbaum, Président du Comité de Direction du groupe de Salzgitter, la Salzgitter AG et la Korf-Stahl AG ont constitué une société commune qui sera tout d'abord chargée d'effectuer une étude détaillée du projet. A cet effet, 10 000 t de minerai de Koursk seront envoyées à Salzgitter, Peine et Hambourg pour des essais de réduction directe. L'étude complète du projet (avec le détail des livraisons à fournir par diverses entreprises allemandes et le détail des modalités de paiement) pourrait être soumise aux autorités soviétiques dans un délai d'environ 2 ans. C'est alors seulement que le contrat définitif pourra être conclu. Selon le Dr. Birnbaum, les travaux pourront être menés rapidement après conclusion du contrat et demander environ 3 ans, si bien que la production pourrait démarrer vers le début de 1978.

Les groupes Korf et Salzgitter auront un droit prioritaire sur les livraisons soviétiques de boulettes pré-réduites, mais celles-ci pourront être également utilisées par d'autres sociétés sidérurgiques allemandes. La Salzgitter AG examine actuellement si elle utilisera elle-même des boulettes pré-réduites en provenance de l'U.R.S.S., car elle doit compter avec le fait que sa propre production de minerai à Salzgitter et Peine cessera vraisemblablement à la fin de la décennie. Pour le groupe de Salzgitter, il ne s'agit donc pas seulement d'une vente d'équipements à l'U.R.S.S. mais peut-être aussi de l'ébauche d'une coopération à plus long terme.

Projet de mise en exploitation des gisements de Kostamo, à la frontière soviéto-finlandaise.

Bien que la région de Koursk ait été finalement retenue pour la construction éventuelle d'une usine basée sur la réduction directe, les Soviétiques semblent poursuivre le projet de mise en valeur des gisements de minerai de fer de Kostamo en Carélie, à proximité de la frontière finlandaise. Un accord pourrait être signé avec les Finlandais au début de 1973.

Selon M. Haavisto, président directeur général de la société sidérurgique finlandaise Rautaruukki Oy, les travaux de mise en valeur pourraient commencer à l'automne 1973, et l'on envisage également, pour 1976, la construction d'une installation de bouletage d'une capacité de 2,8 millions de t/an. Toute la production de boulettes (oxydées) serait alors expédiée à la Rautaruukki Oy, qui compte doubler sa capacité d'ici à 1974 et pourrait donc traiter environ 1 million de t/an de boulettes de Kostamo. Le tonnage en excédent (1,8 million de t) serait exporté par les ports du Nord de la Finlande jusqu'en 1980, date à laquelle l'U.R.S.S. envisagerait d'utiliser elle-même cet excédent.

Les réserves de Kostamo sont évaluées à plusieurs milliards de tonnes d'un minerai à peu près exempt d'impuretés.

La mini-usine de la Sheerness Steel Co

L'usine de la Sheerness Steel Co, située dans l'île de Sheppey (estuaire de la Tamise) à quelque 65 km de Londres, a été inaugurée par le duc d'Edimbourg au début de novembre.

Cette usine présente les particularités suivantes :

— elle est la première « mini-usine » de Grande-Bretagne ;

— elle a été construite avec l'aide technique et financière d'un groupe canadien ayant déjà l'expérience des mini-usines en Amérique du Nord ;

— elle représente sans doute l'investissement le plus important (£ 10 millions) qui ait été réalisé dans le secteur de la sidérurgie privée britannique depuis la nationalisation des pincipaux producteurs en 1967.

Le site choisi présente divers avantages :

— proximité de Londres et des marchés du sud-est de l'Angleterre qui offrent d'importants débouchés pour les ronds à béton (principale production actuelle de l'usine) et pour les cornières et petits plats (qui pourraient donc être inclus ultérieurement dans le programme de fabrication) ;

— bonnes possibilités d'approvisionnement en ferraille dans la région de Londres qui, en l'absence d'une usine sidérurgique locale, devait jusqu'à présent expédier ses ferrailles en Galles du Sud et dans la région de Scunthorpe (plus récemment aussi vers le Continent) ;

— facilités de recrutement de la main-d'œuvre, la région de Sheerness et certaines autres régions du Sud-Est ayant un nombre élevé de chômeurs ;

— proximité d'un port très actif et en pleine expansion : des équipements « roll on-roll off » permettent maintenant de charger des véhicules sur ferry-boat à destination d'Ostende ; par ailleurs, Sheerness est maintenant desservi par bateaux porte-allèges du type LASH.

En fait, le projet d'une mini-usine à Sheerness date de 1962. A l'époque, il émanait d'un relamineur britannique, la Raine and Co, qui prévoyait 2 fours électriques à arc, 1 coulée continue et 2 laminoirs pour la production de 60 000 t/an de barres et profilés légers. Après diverses péripéties, ce projet fut définitivement abandonné en 1967.

La Sheerness Steel Co a été constituée seulement en 1969, avec la participation du groupe canadien Co Steel International qui avait déjà présidé à la construction de 3 mini-usines en Amérique du Nord, à savoir la « Lake Ontario Steel » à Whitby/Ontario, la « North Star Steel » à St Paul/Minnesota et la « Premier Steel Mills » dans l'Alberta (cette dernière a été vendue à la Steel Co of Canada en 1962). En outre, la Co Steel International of Canada étudierait maintenant la possibilité de construire une mini-usine en Arabie Séoudite.

Actuellement, le capital de la Sheerness Steel Co se répartit comme suit :

— Co Steel International of Canada	54 %
— Chase International Investment Corporation, filiale de la Chase Manhattan Bank	10 %
— Actionnaires britanniques	36 %

La Canadian Export Development Corp. a fourni un prêt de £ 5,4 millions pour la réalisation du projet, sous réserve que la majeure partie de l'équipement soit fournie par le Canada. En fait, les plans et une grande partie de l'équipement ont été fournis par la Ferrco Engineering, Whitby/Ontario, société faisant également partie du groupe Co Steel International of Canada. Le principal sous-traitant a été la société britannique I.D.C., de Stratford-sur-Avon. Les principaux dirigeants de la Sheerness Steel Co sont :

— Sir Charles Wheeler (Grande-Bretagne) .. .. .. chairman

— M. Peter Learmond (Grande-Bretagne) .. .. .. vice-chairman et directeur commercial

— Mr. Clancy Schueppert (Amérique) .. .. chief executive

L'usine de Sheerness dispose actuellement :

— d'un four électrique UHP de 80 t, suivi d'une coulée continue Concast à 4 lignes, d'une capacité d'environ 200 000 t de billettes par an (la première coulée d'acier a été effectuée le 4 avril 1972) ;

— d'un train continu à barres d'une capacité de 400 000 t/an, mis en service le 19 mai 1972. Ce train, équipé d'un ordinateur permet d'atteindre une vitesse à la sortie de 4 000 pieds/mn (1 200 m/mn, soit 20 m/s) pour les petites dimensions ;

— d'un four de réchauffage, chauffé au gaz naturel.

Au stade actuel, la capacité de l'usine est évaluée à 180 000 t/an de produits finis (la cadence de production est de l'ordre de 150 000 t/an et devrait atteindre 160 000 t/an en 1973). L'usine produit pour l'instant des ronds à béton en acier doux et des ronds crénelés à haute résistance.

La Sheerness Steel Co envisage par ailleurs une seconde tranche de travaux comportant :

— tout d'abord des équipements permettant la fourniture de produits en couronnes (début 1974) ; coût probable : £ 1 million ;

— à une date encore à déterminer, un second four électrique et une seconde installation de coulée continue, en vue d'utiliser plus pleinement les possibilités du train à barres et de porter la production à quelque 375 000 t de produits finis ; coût probable : £ 2 millions à £ 3 millions.

La société, étant proche du grand marché de la région londonienne, estime qu'elle sera avantagée par le système CECA des points de parité. Selon Sir Charles Wheeler, elle espère trouver la plus grande partie de ses débouchés sur le marché intérieur au détriment des importations (qui, pour les ronds à béton, sont de l'ordre de 400 000 t par an). Jusqu'à présent, la Sheerness Steel Co se serait donc préoccupée surtout de trouver des clients en Grande-Bretagne ; elle n'aurait encore effectué aucune exportation depuis sa mise en service.

Projets d'autres mini-usines en Grande-Bretagne.

Ces projets sont actuellement au nombre de 4. L'un d'eux, le plus ancien en date, émane de la société sidérurgique norvégienne Christiana Spigerverk (aujourd'hui fusionnée avec le groupe Elkem). Les 3 autres émanent de relamineurs-transformateurs britanniques, désireux de se rendre moins dépendants de la BSC pour leur approvisionnement en acier (les relamineurs-transformateurs reprochent en effet à la BSC de fixer le prix des billettes à un niveau trop élevé par rapport à celui des produits finis).

Projet du groupe norvégien Elkem-Spigerverk.

Ce projet a été établi en 1971. Il concerne la construction d'une mini-usine pouvant produire 150 000 t/an de ronds à béton. Au départ, le groupe norvégien souhaitait implanter sa mini-usine à Chesterfield (Derbyshire) à proximité de centres de consommation. Toutefois, le gouvernement britannique refusa l'autorisation de construire à Chesterfield et demanda que la mini-usine soit implantée dans une zone de développement. Après avoir songé à réaliser son projet plutôt sur le Continent, le groupe norvégien, considérant l'aide aux investissements offerte par les zones de développement britanniques, a entrepris l'étude de divers sites possibles (notamment Pantez près de Pontypool, en Galles du Sud) ; sa décision devrait être annoncée d'ici à quelques mois.

Projet de Cooper Industries et F.H. Lloyd, relamineurs des Midlands.

Ce projet a été annoncé en juin 1972. Il concerne la construction d'un four électrique de 30 t et d'une installation de coulée continue pour la production de 100 000 t/an de billettes destinées à l'appprovisionnement des laminoirs des deux sociétés fondatrices.

Projet de Richard Johnson and Nephew, tréfileur (Manchester).

Ce projet a été annoncé en juin 1972. Il concerne la construction d'un four électrique de 40 t et d'une coulée continue à 3 lignes, d'une capacité de 100 000 t/an de billettes destinées au train à fil machine de Richard Johnson and Nephew. Les travaux seront exécutés par la firme I.D.C. de Stratford-sur-Avon. Le groupe Korf a été chargé de l'engineering. Les travaux devraient être achevés en mars 1974 pour un coût d'environ £ 3 millions.

Projet de Hall Engineering (Holdings), Birkenhead.

Ce projet, annoncé en novembre 1972, concerne la construction d'une mini-usine d'une capacité de départ de 150 000 t/an de barres et fil machine. La production sera destinée à la British Reinforced Concrete, filiale de Hall Engineering fournissant des barres et treillis métalliques soudés pour armature du béton. Ce projet, d'un coût de £ 7,5 millions, doit bénéficier d'une subvention du gouvernement britannique ainsi que d'un prêt du gouvernement de £ 1 million (remboursable en 5 ans à partir de juin 1975). Les travaux devraient être achevés en 1974. Les installations seront fournies par Danieli.

Il faut encore noter que, parmi les « options » du programme à long terme de la B.S.C., figure notamment la construction d'une ou plusieurs mini-usines (probablement en Ecosse).

Aux Etats-Unis, la sidérurgie fait appel à l'aide du gouvernement pour la lutte contre la pollution

La revue trimestrielle *Steel Facts*, publiée par le département des Relations Publiques de l'AISI, écrit notamment :

« Tout au long des années, la sidérurgie américaine n'a cessé de mettre au point des méthodes efficaces et ingénieuses pour l'élimination de ses déchets. Ses investissements dans ce domaine atteignent déjà près de $ 1,5 milliard et de nouveaux équipements, représentant un investissement supplémentaire de $ 320 millions, sont en cours de construction. Par ailleurs, l'exploitation et l'entretien des équipements anti-pollution représentent une dépense de l'ordre de 12 % de l'investissement initial, soit actuellement près de $ 180 millions par an.

« Le Second Rapport Annuel du « Council on Environmental Quality » indique qu'en 1970 les investissements de la sidérurgie pour le contrôle de la pollution ont représenté 10,3 % de ses investissements totaux, soit un pourcentage supérieur à celui de toute autre industrie américaine et égal au double de la moyenne pour toute les industries manufacturières des Etats-Unis.

« De 1951 à 1971, les investissements de la sidérurgie américaine pour le contrôle de la pollution ont représenté en moyenne 5 % des investissements totaux, mais ce pourcentage a atteint 11,4 % en 1971.

« Sur le total de près de $ 1,5 milliard déjà investis par la sidérurgie, près de $ 800 millions concernaient l'assainissement de l'air et plus de $ 700 millions l'assainissement de l'eau.

« Etant donné l'importance des capitaux mis en œuvre, il est d'importance primordiale que les normes fixées par le gouvernement en matière d'environnement et les délais consentis pour se conformer à ces normes tiennent compte de tous les éléments, c'est-à-dire de la santé publique et de la qualité de la vie d'une part, mais aussi des fonds disponibles, des possibilités technologiques et du temps nécessaire pour développer et mettre en application de nouvelles techniques,

« Or, la sidérurgie américaine est actuellement très préoccupée par les programmes de l'administration fédérale et par la façon dont ils sont appliqués. Elle estime que les normes fixées sont par trop restrictives, que les délais consentis pour s'y conformer sont totalement dénués de réalisme et elle déplore par ailleurs que les programmes des diverses administrations manquent d'homogénéité.

« Les directives fédérales (tant celles déjà adoptées que celles récemment proposées) semblent basées sur l'idée que tous les types de contaminants doivent être éliminés de la façon la plus efficace, que ces contaminants provoquent ou non une réelle pollution. Dans de nombreux cas, la nécessité de règles extrêmement sévères n'a pas même été prouvée.

« La situation financière de la sidérurgie est telle que les entreprises ne peuvent se permettre de financer des programmes anti-pollution qui ne sont pas nécessaires ou qui prévoient des normes inutilement restrictives. Il s'y ajoute que, les règlements de l'administration étant fréquemment modifiés, la révision continuelle des programmes de lutte contre la pollution à l'échelon des usines constitue également une lourde charge.

« Pour satisfaire aux règles concernant l'assainissement de l'air, l'investissement minimum requis dans la sidérurgie est évalué à plus de $ 2,5 millliards, auxquels il faudrait ajouter $ 1 milliard pour satisfaire aux règles proposées en matière d'assainissement de l'eau, ce qui donne un total de plus de $ 3,5 milliards. Le coût d'exploitation des équipements serait alors de $ 400 millions par an.

« Même en période de bénéfices particulièrement élevés, de tels investissements constitueraient une charge excessive car ils représentent 8 fois le bénéfice total de la sidérurgie américaine en 1970 et près du total des bénéfices réalisés par la sidérurgie américaine au cours des 5 dernières années.

« La sidérurgie américaine recommande donc que :

Les agences gouvernementales fixent des normes qui soient réellement profitables à la société et qui tiennent compte à la fois des considérations sanitaires, sociales, économiques et techniques. Actuellement, la plupart des normes sont basées simplement sur le désir d'éliminer au maximum les substances contenues dans l'air et dans l'eau. On devrait examiner si, en portant le degré d'efficacité des installations d'épuration de 95 à 99 %, on obtient réellement un avantage suffisant pour justifier le coût de l'élimination d'une si faible quantité supplémentaire de substances.

Ce rapport avantage/coût devrait être étudié de façon scientifique afin de voir si les investissements supplémentaires sont réellement justifiés.

Le Congrès devrait établir un programme de prêts à long terme et à faible taux d'intérêt (peut-être par la création d'un fonds de $ 3 milliards) pour aider à la construction des équipements anti-pollution ; ce fonds consentirait des prêts, non des subventions.

Des subventions pour la construction en commun, par les municipalités et les industries locales, d'installations de destruction des déchets apporteraient également une importante contribution à la solution du problème général de l'environnement.

Tout nouveau texte législatif sur l'environnement devrait prévoir que le coût des équipements anti-pollution, qui sont improductifs, soit déductible de l'impôt fédéral sur les bénéfices.

Les différentes réglementations devraient fixer des délais qui ne soient plus modifiés par la suite, de sorte que les entreprises connaissent exactement les objectifs à atteindre et que les équipements mis en place ne soient pas rapidement dépassés par de perpétuelles modifications de la législation dans un sens de plus en plus restrictif. »

Le récyclage des boîtes de conserve aux Etats-Unis

Quelque 21 villes américaines disposent maintenant d'équipements leur permettant de récupérer les boîtes de conserve dans les ordures ménagères par procédé de séparation magnétique. La cadence actuelle de récupération n'est cependannt encore que de 2,8 milliards de boîtes par an, alors que la production annuelle de boîtes en acier aux Etats-Unis atteint quelque 70 milliards (à la fin 1973, 28 villes devraient être équipées pour la séparation magnétique et la cadence annuelle de récupération devrait atteindre plus de 4 milliards de boîtes).

Jusqu'à présent, le problème était de savoir s'il existait un marché pour les boîtes ainsi récupérées. Selon M. R. Thomas Willson, senior vice-président de l'American Iron and Steel Institute, les perspectives semblent plus favorables aujourd'hui qu'il y a un an ; les usines finiront sans doute par considérer les vieilles boîtes comme une source de ferraille valable, peut-être même accepteront-elles de payer un certain prix pour les obtenir.

L'AISI estime que deux secteurs industriels pourraient éventuellement absorber un total de 38 milliards de boîtes par an, à condition que l'opération soit rentable, compte tenu de tous les éléments (y compris les frais de transport) :

— les aciéries à l'oxygène pourraient sans doute absorber jusqu'à 20 milliards de boîtes par an, si le poids maximum de boîtes étamées était ajouté aux charges de ferrailles ; d'autre part, l'usage croissant de boîtes en acier « tin-free » pourra finalement assouplir les limites techniques imposées par le risque de contamination des charges par l'étain ;

— l'industrie du cuivre pourrait absorber jusqu'à 18 milliards de boîtes par an comme « agent de précipitation » pour la récupération du cuivre dans les minerais pauvres.

Par ailleurs, l'industrie du désétamage et les producteurs de ferro-alliages constituent également un marché, à vrai dire de moindre importance. Actuellement, les Etats-Unis récupèrent par désétamage 3 000 t c d'étain par an, alors qu'ils en importent 50 000 t c. Une tonne courte de boîtes de conserve incorpore environ 7,5 lbs d'étain (3 400 g d'étain pour 907 kg de boîtes).

(d'après *Industry Week*)

'rojet de mise en valeur de nouveaux gisements de minerai de fer par la Canadian Javelin

La Canadian Javelin Ltd, de Montréal, a établi un programme d'un coût de $ 466 millions pour la mise en valeur des gisements de minerai de fer Julian et Jubilee dans le Labrador.

La concession du gisement Julian, à quelque 25 km au nord du gisement de Wabush, a été donnée à la Newfoundland and Labrador Corp. « Nalco », dans laquelle Canadian Javelin détient une participation de 98,86 %. Les réserves du gisement sont évaluées à plus de 500 millions de t l de minerai, exploitable à ciel ouvert, permettant la production d'environ 200 millions de t l de concentrés à haute teneur en fer. En outre, Canadian Javelin a conclu un accord avec la Labrador Mining and Exploration Ltd, accord lui donnant le droit d'exploiter (moyennant le versement de royalties) un gisement voisin contenant 500 millions de tonnes longues supplémentaires de minerai.

Le gisement Jubilee appartient à la Dominion Jubilee Corp., dans laquelle Canadian Javelin possède une participation de 1/3. Les réserves du gisement sont évaluées à 225 millions de tonnes longues, permettant la production d'environ 150 millions de tonnes longues de concentrés à haute teneur en fer.

La Canadian Javelin estime que ces gisements pourraient fournir au total quelque 30 millions de tonnes longues de minerai par an.

Le projet comporte également la construction d'une installation de bouletage qui doit être implantée à Port Cartier, sur la rive nord de l'estuaire du Saint-Laurent. On prévoit pour cette installation une capacité de 12 millions de tonnes longues de boulettes en vue de l'exportation principalement vers l'Europe et sans doute aussi vers le Japon (la profondeur des eaux à Port Cartier va jusqu'à plus de 22 m, permettant l'accostage de minéraliers de 200 000 t).

Le seul problème restant à résoudre est de savoir si les concentrés seront acheminés jusqu'à Port Cartier par fer (en utilisant la voie ferrée déjà construite par l'U.S. Steel) ou au contraire par pipe-line. Le pipe-line coûterait environ $ 100 millions. Il impliquerait près de 500 km de tubes.

De toute façon, il faudra au moins trois ans pour que l'usine de bouletage de Port Cartier puisse commencer à produire. La Canadian Javelin effectue par ailleurs des études sur la possibilité de produire des boulettes pré-réduites à proximité des gisements.

Nouvelles brèves

Mise à feu du septième haut fourneau à IJmuiden.

Le 7e haut fourneau de l'usine sidérurgique hollandaise d'IJmuiden a récemment été mis à feu. Sa capacité initiale de 7 500 t de fonte par jour sera ensuite portée à 9 000 et 10 000 t.

Constitution au Canada d'un groupement d'entreprises pour construire des mini-aciéries à l'étranger.

Avec l'assistance du gouvernement fédéral et du ministère de l'Industrie de l'Ontario, huit entreprises canadiennes ont constitué un groupement appelé Ferrcan, dont le but est se concevoir et de construire des aciéries dans les pays étrangers, en particulier en Amérique latine.

Le chef de file du groupe est la société Ferrco Engineering Ltd qui a construit récemment une usine à Sheerness, au Royaume-Uni. Les sept autres membres sont Butler Manufacturing Co (Canada) Ltd, Canron Ltd, Dominion Bridge Co Ltd, Pioneer Electric Ltd, Hamilton Gear and Machine Co, John T. Hepburn Ltd et Westinghouse Canada Ltd.

Le but de Ferrcan est de livrer des usines « clefs en main », le groupe prenant en charge l'engineering, la construction, le financement et la formation du personnel. Il se spécialise dans les aciéries de petites dimensions (production annuelle de 50 000 à 500 000 t).

Deux firmes allemandes vont construire un complexe sidérurgique en U.R.S.S.

Selon un porte-parole du Ministère de l'Economie à Bonn, les firmes Salzgitter et Korf vont construire en U.R.S.S., dans la région de Koursk en Russie centrale, un complexe sidérurgique.

Selon les indications fournies par les deux sociétés, ce complexe sidérurgique devrait produire dans un premier temps 3 000 000 de tonnes par an de produits finis laminés et 5 000 000 de tonnes d'éponges de fer.

Le contrat, d'un montant global d'environ 3 milliards de DM (près de 5 milliards de francs), prévoit plus de 2 milliards de DM de commandes à l'industrie allemande, et leur règlement par un système de troc analogue à celui qui avait été mis en place lors de la livraison, en 1970, de tubes à l'U.R.S.S. en échange de gaz.

Mannesmann.

— *Livraison à l'U.R.S.S. de la seconde commande de tubes d'acier.*

La société Mannesmann a débuté la production de la seconde commande qui lui a été passée par l'U.R.S.S. et qui porte sur la livraison de 1,2 million de tonnes de tubes d'acier de gros diamètre. En effet, l'U.R.S.S. a demandé à Mannesmann pour la construction de gazoducs, de lui réaliser au total 2,4 millions de tonnes de tubes d'acier.

Un consortium bancaire allemand a pris en charge le financement du crédit en offrant aux Russes des taux d'intérêt privilégiés de 6,5 % en attendant les livraisons de gaz naturel qui doivent débuter dans le courant de 1973.

— *Absorption de la société Stahl un Röhrenwerke Reisholz.*

Mannesmann-Röhrenwerke A.G. a acheté la part de 50 % que détenait le groupe Thyssen Bornemisza N.V. dans la Stahl und Röhrenwerke Reisholz.

C'est ce qu'annonce un communiqué commun de Thyssen et Mannesmann. Mannesmann détient déjà 50 % de la société en question et devient donc l'unique propriétaire de Reisholz. Le capital nominal de Reisholz s'élève à DM 60 millions. Son chiffre d'affaires était de DM 365 millions en 1971 et sa production d'acier atteignait 225 000 t.

Mannesmann et Thyssen avaient décidé de ce rachat en 1969 dans le cadre de la réorganisation de leurs structures et de leurs rapports actuels. Aucune information sur le montant de ce rachat n'a été divulguée.

influence de la microségrégation et d'un traitement d'homogénéisation sur la trempabilité Jominy des aciers moulés alliés

Melle M.T. Léger
Centre Technique des Industries de la Fonderie (Paris)

J.W. Hallock
Climax Molybdenum (Paris)

P. Detrez
Centre Technique des Industries de la Fonderie (Paris)

Communication présentée aux "Journées Métallurgiques d'Automne 1970" organisées par la Société Française de Métallurgie.

La solidification d'un acier s'accompagne d'une ségrégation chimique, majeure à l'échelle de la pièce ou du lingot, et mineure à l'échelle de la dendrite.

Les aciers alliés, bruts de coulée, présentent donc une microségrégation dendritique due à la présence des éléments d'alliage et, de ce fait, leur transformation en refroidissement continu s'effectue selon différents diagrammes, la transformation commençant par les zones intradendritiques les plus pures pour se terminer dans les zones interdendritiques enrichies en éléments d'alliages, donc plus trempantes.

Une homogénéisation à haute température provoque une diffusion des éléments d'alliage. Les zones intradendritiques s'enrichissent en ces éléments tandis que les zones interdendritiques s'appauvrissent.

Les travaux d'études ont porté sur la détermination des indices de ségrégation à l'état brut de coulée et après homogénéisation d'une part, et sur la détermination de la trempabilité Jominy pour ces deux états de référence.

Nous avons pu mettre en évidence que la microségrégation dendritique intervenait dans le sens d'une diminution de la trempabilité des aciers moulés alliés.

Une homogénéisation de 20 h à 1 175°C est efficace pour réduire le niveau de microségrégation et augmenter la trempabilité Jominy.

Une recherche de relation entre l'augmentation de trempabilité et la réduction du niveau de microségrégation des divers éléments, affectés d'un coefficient d'action sur la trempabilité, a été faite.

INTRODUCTION

Il est bien connu désormais que la solidification d'un acier s'accompagne d'une ségrégation chimique, majeure à l'échelle de la pièce ou du lingot, et mineure à l'échelle de la dendrite. Le premier phénomène, plus ou moins important dans le cas de lingots ou de pièces massives, est généralement négligeable dans des pièces d'épaisseur inférieure à 200 mm, tandis que le second, inhérent au processus même de la solidification, est inévitable et loin d'être négligeable.

Influence des microségrégations sur la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$

Les aciers alliés, bruts de coulée, présentent donc une microségrégation dendritique due à la présence des éléments d'alliage et, de ce fait, leur transformation en refroidissement continu s'effectue selon différents diagrammes, la transformation commençant dans les zones intradendritiques les plus pures pour se terminer dans les zones interdendritiques enrichies en éléments d'alliages, donc plus trempantes.

Ainsi, Kulmburg et Swoboda (1) ont pu mettre ce phénomène en évidence sur la nuance 54 NCDV 7-4 à l'aide de la microanalyse et de l'observation de la transformation isotherme $\gamma \rightarrow \alpha$, à la platine chauffante sous vide.

A l'aide de balayages à la microsonde, les auteurs ont déterminé les concentrations minimales et maximales de divers éléments et, plus particulièrement, du chrome et du molybdène (fig. 1).

Ils obtiennent ainsi :

	Mo (%)	Cr (%)
Centre des dendrites	0,5	1,0
Espaces interdendritiques	1,3	1,5

Par ailleurs, l'observation à la platine chauffante de la transformation isotherme de l'austénite, à différentes températures du domaine bainitique, leur a permis d'établir le diagramme TTT dans cette région : sur une plage repérée et préalablement analysée à la microsonde, on constate que dans les zones intradendritique de concentration minimale, 0,5 % Mo et 1 % Cr, la transformation démarre plus tôt et se termine avant même que la transformation des zones interdendritiques de concentration maximale (1,3 % Mo et 1,5 % Cr) ne commence.

raisons, le point M_s est plus bas
tion maximale que dans

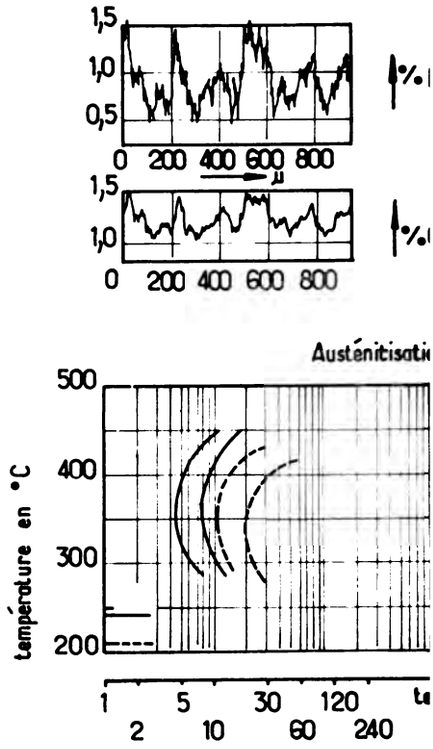


Figure 1. — Courbe TTT dans le domaine
pectivement pour une zone intradendritiq
interdendritique d'un acier allié (nuance
D'après Kulmburg et Swoboda

Influence d'un traitement d'homo
la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$

Dans une étude précédente (
l'occasion de montrer l'efficacit
d'homogénéisation pour réduire
observée à l'état brut dans le
moulé. Cette homogénéisation s'
des éléments à haute température
dendritiques s'enrichissant en é
dis que les zones interdendritiq

Compte tenu de l'effet de
la transformation $\gamma \rightarrow \alpha$, on p
sur un acier homogénéisé, la
plus tard et se termine plus

Kulmburg et Swoboda (
la nuance 54 NCDV 7-4,
TTT dans la région bainitic
non homogénéisé et, d'au
subi un traitement d'hor
80 h à 1 320°C (fig. 2) : le
menté et l'intervalle de
que le point M_s est abs

Dans le domaine pe
ségrégation et d'un tra

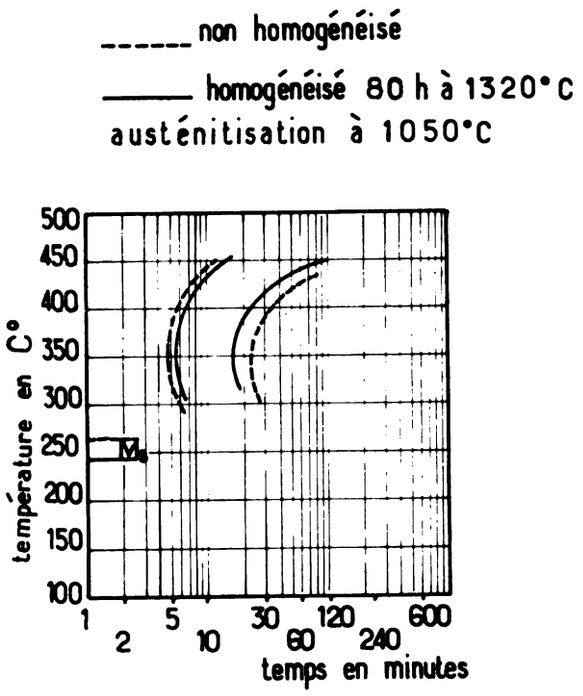


Figure 2. — Courbe TTT dans le domaine bainitique et martensitique pour un acier allié (nuance 54 NCDV 7-4) dans les états respectivement homogénéisés et non homogénéisé. — D'après Kulmburg et Swoboda (1).

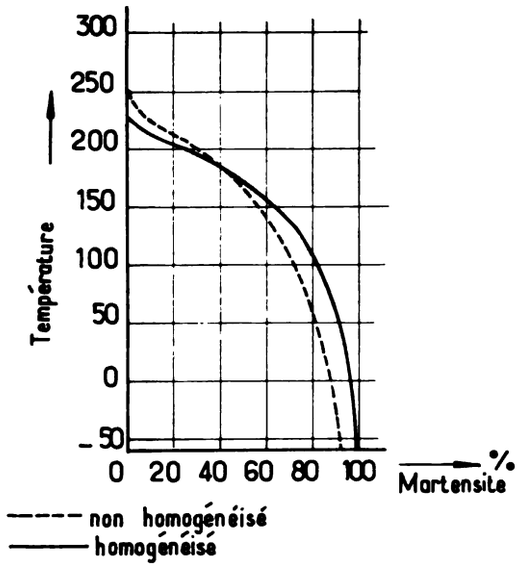


Figure 3. — Vitesse d'apparition de la martensite au cours du refroidissement en dessous de M_s, respectivement dans les états non homogénéisé et homogénéisé, pour une nuance alliée 55 NCDV 7-3. — D'après Kulmburg et Swoboda (1).

Lors d'un refroidissement continu, les domaines perlitiques et bainitiques seront réduits et déplacés de la même manière vers des températures plus basses et la vitesse critique de trempe martensitique sera augmentée.

De même, dans le domaine martensitique, un traitement d'homogénéisation préalable a pour effet non seulement d'abaisser le point M_s, comme on l'a vu, mais aussi d'élever le point M_f, donc d'augmenter la vitesse d'apparition de la martensite au cours d'un refroidissement continu (fig. 3).

Dans le cas de la nuance 55 NCDV 7-3, étudiée par Kulmburg et Swoboda, ceci a pour effet de réduire le taux d'austénite résiduelle à la température ambiante.

Un traitement d'homogénéisation à haute température, en réduisant les microségrégations a donc pour effet d'augmenter la vitesse critique de trempe martensitique et d'accélérer la formation de martensite au cours du refroidissement.

Ces deux phénomènes doivent contribuer à augmenter la trempabilité de l'acier.

Dans notre étude, nous avons cherché à voir dans quelle mesure un traitement d'homogénéisation préalable de 20 h à 1 175°C était efficace pour réduire la microségrégation et augmenter la trempabilité Jominy de cinq nuances d'acier allié au Mn-Mo, au Cr, au Cr-Mo et au Ni-Cr-Mo.

ESSAIS RÉALISÉS - RÉSULTATS

Elaboration.

Des fusions de 40 kg, élaborées au four à induction à l'aide de fer Armco et de ferro-alliages, ont permis de couler, pour chaque nuance :

— un jet de 150 mm de diamètre et de 250 mm de hauteur, dans un moule en sable ;

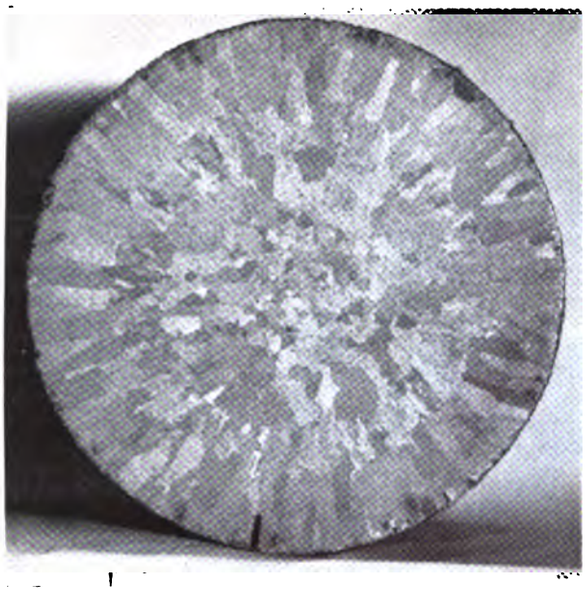
— un barreau témoin cylindrique de 30 mm de diamètre et 120 mm de long, dans une coquille de cuivre refroidie dans l'eau glacée ;

— un petit lingotin pour l'analyse chimique (moule en sable avec un refroidisseur en cuivre au fond du moule).

Les compositions chimiques des cinq nuances élaborées sont rassemblées au *tableau I.*

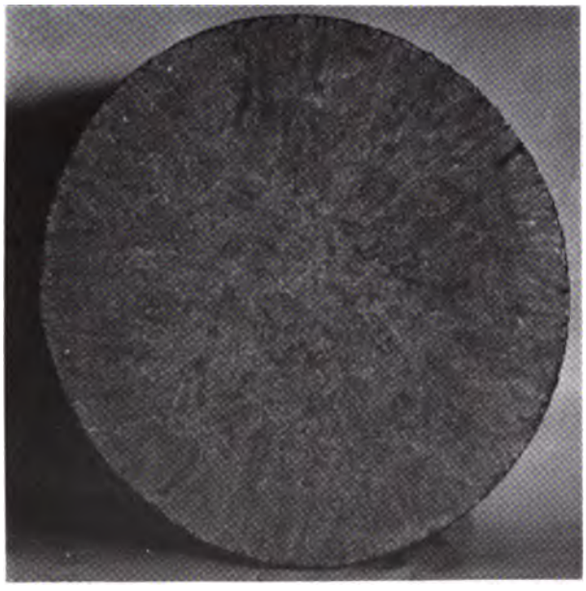
Préparation des barreaux d'essais Jominy et des échantillons d'analyse à la microsonde.

Dans chaque gros jet coulé en sable, on éliminait la partie haute par une section perpendiculaire à l'axe, effectuée à 120 mm du bas.

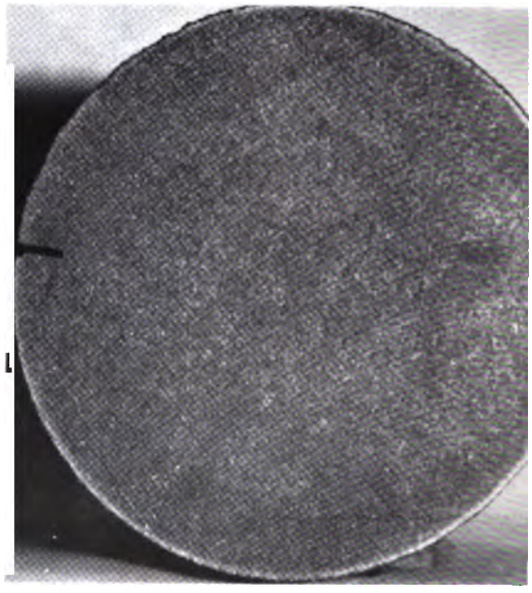


30 MD 6

30 NCD 2



30 NCD 8



35 C 4

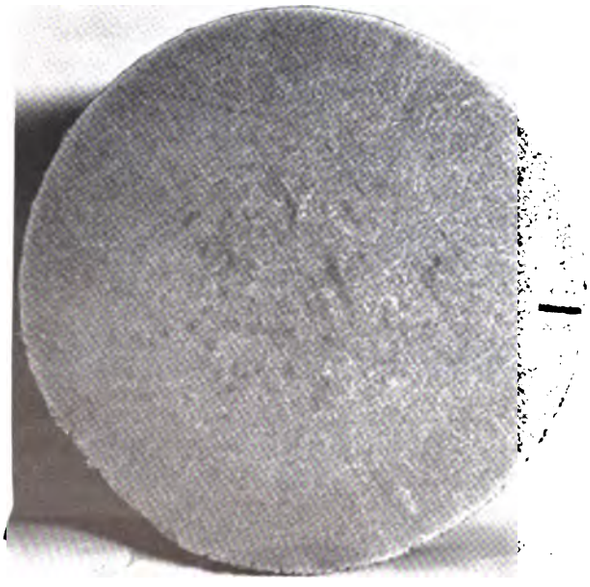


Figure 4. — Examens macrographiques sur une coupe pendiculaire à l'axe des jets de 150 mm de diamètre c en sable (échelle 1/2). Attaque acide dans la so suivante : NO_3H = 45 parties, ClH = 5 partie H_2O = 50 parties.

◀ 35 CD 4

TABLEAU — Ségrégation dendritique mesurée à la microsonde.

Nuance	Position	Indices de ségrégation																			
		Si				Mn				Ni				Cr				Mo			
		A (1)		B (1)		A		B		A		B		A		B		A		B	
		I	2 σ_m (2)	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m
30 MD 6	1					1,34	0,08	1,17	0,08									1,53	0,36	1,33	0,24
	2					1,21	0,03	1,16	0,06									1,42	0,26	1,21	0,12
	3					1,29	0,2	1,18	0,06									1,47	0,30	1,27	0,10
	4																				
	5					1,24	0,06	1,04	0,06									1,34	0,16	1,37	0,24
	6																				
	7					1,17	0,07	1,08	0,04									1,44	0,26	1,21	0,14
	8					1,14	0,04	1,04	0,04									1,34	0,20	1,20	0,16
30 NCD 2	1	1,18	0,16	1,04	0,06	1,24	0,06	1,07	0,08					1,21	0,07	1,08	0,07	1,46	0,3	1,24	0,4
	2	1,16	0,08	1,07	0,07	1,21	0,08	1,11	0,08					1,18	0,06	1,16	0,08	1,18	0,4	1,49	0,3
	3	1,18	0,11	1,14	0,14	1,23	0,08	1,18	0,08					1,20	0,06	1,21	0,06	1,40	0,3	1,19	0,3
	4	1,20	0,07	1,10	0,07	1,32	0,07	1,14	0,06					1,17	0,08	1,09	1,18	1,41	0,2	1,63	0,2
	5	1,16	0,08	1,12	0,07	1,23	0,08	1,06	0,05					1,17	0,10	1,11	0,06	1,8	0,6	1,23	0,3
	6	1,10	0,07	1,12	0,07	1,25	0,09	1,16	0,09					1,12	0,08	1,21	0,14	1,32	0,3	1,35	0,3
	7	1,14	0,06	1,09	0,14	1,16	0,14	1,03	0,08					1,10	0,08	1,14	0,09	1,17	0,3	1,37	0,3
	8	1,14	0,12	1,00	0,06	1,14	0,06	1,06	0,06					1,08	0,08	1,06	0,02	1,27	0,2	1,19	0,2
30 NCD 8	1					1,21	0,09	1,00	0,06	1,39	0,07	1,47	0,08	1,14	0,09	1,08	0,08	2,51	0,7	1,40	0,4
	2					1,23	0,06	1,03	0,06	1,34	0,07	1,36	0,09	1,36	0,08	1,13	0,07	2,48	0,8	1,60	0,4
	3					1,13	0,07	1,04	0,07	1,21	0,05	1,44	0,08	1,17	0,12	1,07	0,08	2,93	1,0	1,35	0,5
	4					1,18	0,10	1,06	0,05	1,24	0,09	1,24	0,08	1,29	0,08	1,04	0,07	2,28	0,8	1,34	0,3
	5					1,17	0,08	1,07	0,07	1,28	0,09	1,05	0,05	1,29	0,09	1,07	0,07	2,27	1,0	1,45	0,3
	6					1,15	0,08	1,05	0,06	1,32	0,07	1,20	0,10	1,24	0,10	1,09	0,07	1,86	0,5	1,52	0,5
	7					1,09	0,05	1,05	0,05	1,17	0,05	1,02	0,05	1,13	0,08	1,13	0,08	1,95	0,6	1,3	0,03
	8					0,95	0,07	1,02	0,06	1,10	0,05	1,04	0,05	1,14	0,06	1,03	0,06	1,89	0,7	0,94	0,3
35 C 4	5	1,51	0,10	1,34	0,06	1,15	0,08	1,08	0,05					1,41	0,10	1,23	0,05				
	7	1,32	0,10	1,36	0,06	1,23	0,08	1,04	0,04					1,25	0,05	1,18	0,06				
	8	1,43	0,09	1,40	0,10	1,01	0,05	1,01	0,16					1,14	0,04	1,03	0,05				
35 CD 4	5	1,46	0,07	1,16	0,2	1,22	0,09	1,05	0,05					1,36	0,1	1,17	0,07	2,25	0,7	1,34	0,3
	7	1,48	0,07	1,3	0,03	1,12	0,06	1,00	0,04					1,34	0,1	1,08	0,04	2,10	0,5	1,32	0,2
	8	1,34	0,07	1,37	0,09	1,09	0,06	0,92	0,05					1,17	0,06	1,01	0,03	1,59	0,2	0,95	0,14

(1) A : Sans homogénéisation préalable. — B : Homogénéisation préalable de 20 h à 1 175°C.
(2) σ_m = écart-type sur la valeur moyenne de I.

Préparation des échantillons de microsonde.

Un disque de 13 mm d'épaisseur était prélevé à l'extrémité de chaque ébauche A ou B normalisée et, dans ce disque, on usinait de petits échantillons métallographiques d'environ 10 × 10 mm correspondant à chaque position radiale repérée 1 à 8. Après polissage, le faciès dendritique était mis en évidence à l'aide du réactif alcalin oxydant modifié de Beaujart.

Ce réactif colore de façon différente les zones inter et intradendritiques sans former de dépôt superficiel gênant pour l'analyse à la microsonde.

Préparation des éprouvettes d'essai Jominy.

Les éprouvettes Jominy de 25,4 mm de diamètre était usinées dans les ébauches normalisées. Quelques éprouvettes ayant subi une décarburation ont été éliminées.

Toutes les éprouvettes Jominy, y compris celles qui ont été coulées en coquille, étaient austénitisées à 870°C et soumises à l'essai de trempe en bout suivant la norme ASTM A 255-66.

Les éprouvettes coulées en coquille étaient ensuite meulées sur deux génératrices opposées, tandis que les éprouvettes A et B, provenant du gros jet coulé en sable, étaient meulées suivant 4 génératrices correspondant aux diverses positions radiales (1 à 8) présentées à la *figure* 5.

Les duretés Rockwell C étaient lues le long de ces méplats et les courbes de trempabilité Jominy établies à l'aide de ces résultats.

Résultats.

Analyse de la ségrégation dendritique à la microsonde.

Comme dans nos études antérieures (2), l'analyse est effectuée par pointés successifs dans les zones intra et interdendritiques voisines pour chaque élément. Les concentrations moyennes dans chacune de ces zones sont calculées à partir de 20 pointés effectués respectivement dans ces deux régions, sur le fer pur, et sur l'étalon.

On mesure les concentrations en silicium, chrome, manganèse et nickel à l'aide des raies $K\alpha_1$ de ces éléments et les concentrations en molybdène à l'aide de la raie $L\alpha_1$.

Les étalons sont constitués de métaux purs à l'exception du silicium pour lequel on utilise un alliage Fe-Si à 4,5 % Si.

Des corrections, de fluorescence pour le chrome et d'absorption pour le molybdène, doivent être effectuées.

Enfin, une analyse statistique des résultats, à deux dimensions, faisant intervenir respectivement le facteur ségrégation et le facteur réglage de la microsonde, permet de définir un écart-type sur la concentration moyenne qui, pour les teneurs analysées, reste voisin de 0,01 % et pouvait atteindre parfois 0,03 %.

Cependant les valeurs absolues des concentrations sont sujettes à des erreurs incontrôlables, telles que l'état de surface de l'échantillon, son orientation sous le faisceau électronique, etc. Pour cette raison, c'est le rapport de la concentration moyenne dans les espaces interdendritiques à la concentration moyenne dans les zones intradendritiques (ou indice de ségrégation I) que nous considérons.

La ségrégation des éléments suivants a été mesurée :

pour la nuance	30 MD 6	Mn-Mo
	30 NCD 2	Si-Cr-Mn-Mo
	30 NCD 8	Cr-Mn-Mo-Ni
	35 C 4	Si-Cr-Mn
	35 CD 4	Si-Cr-Mn-Mo

Le *tableau II* et la *figure* 6 montrent l'évolution des indices de ségrégation pour les différentes positions radiales des jets des 5 nuances étudiées, respectivement non homogénéisés et homogénéisés.

Nous vérifions un résultat déjà connu : à l'état brut de coulée, l'augmentation du niveau de microségrégation, quand on passe du bord au centre de la pièce, en particulier lorsqu'on passe d'une zone à cristallisation du type uniaxe (positions 7 et 8) à une zone à cristallisation équiaxe (positions 1 à 6).

On note également la forte ségrégation du molybdène.

Le traitement d'homogénéisation a pour effet de réduire nettement les microségrégations de l'acier 30 NCD 8, en particulier celle du molybdène, du chrome et du manganèse, tandis que sur la nuance 30 NCD 2, moins hétérogène au départ, le traitement d'homogénéisation a un effet beaucoup moins marqué. Ceci est d'ailleurs en bon accord avec la loi de Fick.

Pour les nuances 35 C 4 et 35 CD 4, les indices sont à peu près les mêmes pour le Si, le Mn et le Cr et on note, pour la dernière, la ségrégation ainsi que l'homogénéisation marquée du Mo, comme dans la nuance 30 NCD 8.

Pour l'acier 30 MD 6, on remarque une ségrégation forte du manganèse et du molybdène, ainsi qu'une réduction marquée de cette ségrégation au bord et après homogénéisation.

TABLEAU II : Indices de ségrégation dendritique mesurés à la microsonde.

Nuance	Position	Indices de ségrégation																			
		Si				Mn				Ni				Cr				Mo			
		A (1)		B (1)		A		B		A		B		A		B		A		B	
		I	2 σ_m (2)	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m	I	2 σ_m
30 MD 6	1					1,34	0,08	1,17	0,08									1,53	0,36	1,33	0,24
	2					1,21	0,03	1,16	0,06									1,42	0,26	1,21	0,12
	3					1,29	0,2	1,18	0,06									1,47	0,30	1,27	0,10
	4																				
	5					1,24	0,06	1,04	0,06									1,34	0,16	1,37	0,24
	6																				
	7					1,17	0,07	1,08	0,04									1,44	0,26	1,21	0,14
	8					1,14	0,04	1,04	0,04									1,34	0,20	1,20	0,16
30 NCD 2	1	1,18	0,16	1,04	0,06	1,24	0,06	1,07	0,08					1,21	0,07	1,08	0,07	1,46	0,3	1,24	0,4
	2	1,16	0,08	1,07	0,07	1,21	0,08	1,11	0,08					1,18	0,06	1,16	0,08	1,18	0,4	1,49	0,3
	3	1,18	0,11	1,14	0,14	1,23	0,08	1,18	0,08					1,20	0,06	1,21	0,06	1,40	0,3	1,19	0,3
	4	1,20	0,07	1,10	0,07	1,32	0,07	1,14	0,06					1,17	0,08	1,09	1,18	1,41	0,2	1,63	0,2
	5	1,16	0,08	1,12	0,07	1,23	0,08	1,06	0,05					1,17	0,10	1,11	0,06	1,8	0,6	1,23	0,3
	6	1,10	0,07	1,12	0,07	1,25	0,09	1,16	0,09					1,12	0,08	1,21	0,14	1,32	0,3	1,35	0,3
	7	1,14	0,06	1,09	0,14	1,16	0,14	1,03	0,08					1,10	0,08	1,14	0,09	1,17	0,3	1,37	0,3
	8	1,14	0,12	1,00	0,06	1,14	0,06	1,06	0,06					1,08	0,08	1,06	0,02	1,27	0,2	1,19	0,2
30 NCD 8	1					1,21	0,09	1,00	0,06	1,39	0,07	1,47	0,08	1,14	0,09	1,08	0,08	2,51	0,7	1,40	0,4
	2					1,23	0,06	1,03	0,06	1,34	0,07	1,36	0,09	1,36	0,08	1,13	0,07	2,48	0,8	1,60	0,4
	3					1,13	0,07	1,04	0,07	1,21	0,05	1,44	0,08	1,17	0,12	1,07	0,08	2,93	1,0	1,35	0,5
	4					1,18	0,10	1,06	0,05	1,24	0,09	1,24	0,08	1,29	0,08	1,04	0,07	2,28	0,8	1,34	0,3
	5					1,17	0,08	1,07	0,07	1,28	0,09	1,05	0,05	1,29	0,09	1,07	0,07	2,27	1,0	1,45	0,3
	6					1,15	0,08	1,05	0,06	1,32	0,07	1,20	0,10	1,24	0,10	1,09	0,07	1,86	0,5	1,52	0,5
	7					1,09	0,05	1,05	0,05	1,17	0,05	1,02	0,05	1,13	0,08	1,13	0,08	1,95	0,6	1,3	0,03
	8					0,95	0,07	1,02	0,06	1,10	0,05	1,04	0,05	1,14	0,06	1,03	0,06	1,89	0,7	0,94	0,3
35 C 4	5	1,51	0,10	1,34	0,06	1,15	0,08	1,08	0,05					1,41	0,10	1,23	0,05				
	7	1,32	0,10	1,36	0,06	1,23	0,08	1,04	0,04					1,25	0,05	1,18	0,06				
	8	1,43	0,09	1,40	0,10	1,01	0,05	1,01	0,16					1,14	0,04	1,03	0,05				
35 CD 4	5	1,46	0,07	1,16	0,2	1,22	0,09	1,05	0,05					1,36	0,1	1,17	0,07	2,25	0,7	1,34	0,3
	7	1,48	0,07	1,3	0,03	1,12	0,06	1,00	0,04					1,34	0,1	1,08	0,04	2,10	0,5	1,32	0,2
	8	1,34	0,07	1,37	0,09	1,09	0,06	0,92	0,05					1,17	0,06	1,01	0,03	1,59	0,2	0,96	0,14

(1) A : Sans homogénéisation préalable. — B : Homogénéisation préalable de 20 h à 1 175°C.
(2) σ_m = écart-type sur la valeur moyenne de I.

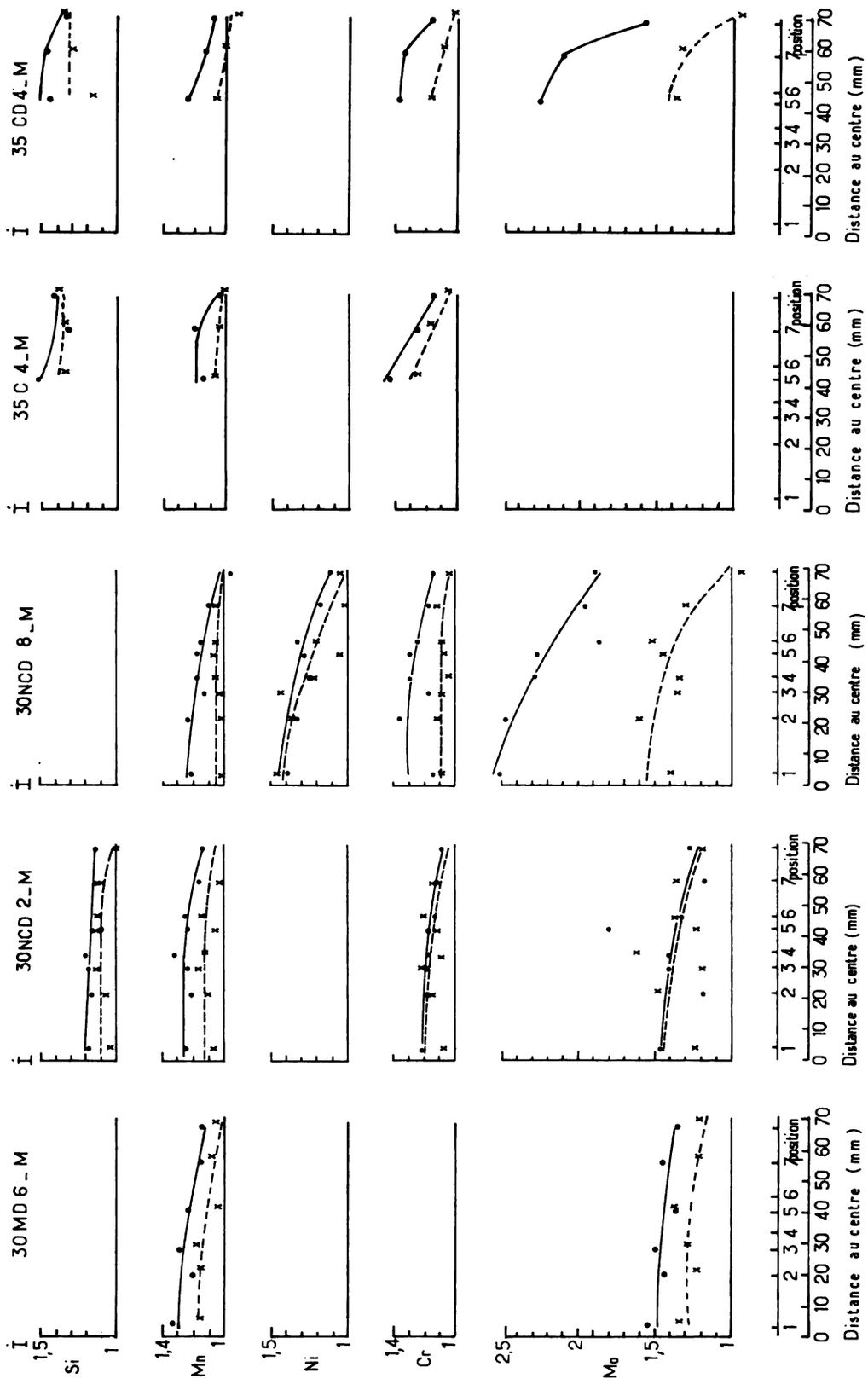


Figure 6. — Evolution des indices de ségrégation I, suivant la distance à l'axe du jet.

Le traitement d'homogénéisation de 20 heures à 1 175°C s'avère donc efficace pour réduire de façon notable les micro-ségrégations observées, particulièrement dans les nuances 30 NCD 8 et 35 CD 4, puis 30 MD 6, 35 C 4 et de façon moins sensible dans la nuance 30 NCD 2.

Essais de trempabilité Jominy.

Le traitement d'homogénéisation modifiant la distribution des éléments d'alliage dans l'acier, il est normal que la courbe Jominy en soit affectée dans la partie où la dureté diminue du fait d'un changement de structure qui passe de la martensite aux constituants formés à plus haute température, perlite ou bainite.

Pour 19 essais sur 20, effectués sur les cinq nuances, on constate un déplacement vers la droite de cette partie de courbe, donc une augmentation de la trempabilité après homogénéisation (tabl. III et fig. 7).

On mesure cette augmentation de trempabilité par l'augmentation ΔD_J de la distance à l'extrémité trempée pour le niveau de demi-dureté h (fig. 8), celle-ci étant définie comme la moyenne de la dureté maximale mesurée sur l'éprouvette et de la dureté pour laquelle la courbe Jominy devient linéaire après la chute de dureté. Par ailleurs, on désigne par D_{JA} la distance à l'extrémité trempée pour le niveau de demi-dureté h, mesurée sur la courbe Jominy relative à l'éprouvette non homogénéisée. La valeur de D_{JA} est représentative de la trempabilité de chaque éprouvette, à l'état brut tandis que ΔD_J représente l'augmentation de trempabilité provoquée par le traitement d'homogénéisation préalable.

Les valeurs de D_{JA} et ΔD_J ainsi que les niveaux de demi dureté correspondantes h sont rassemblées dans le *tableau IV*.

Ce sont les nuances 30 NCD 8, puis 30 MD 6, qui présentent les plus grandes augmentations de trempabilité après homogénéisation et la nuance 30 NCD 2 la plus faible.

On note de grandes variations dans les valeurs correspondant aux différentes positions radiales pour chaque acier. Celles-ci proviennent vraisemblablement de l'imprécision de la méthode d'essai elle-même et du choix quelque peu arbitraire de la dureté comme critère de trempabilité en particulier dans le cas de la nuance 30 NCD 8, dont les courbes Jominy ne présentent pas de point d'inflexion net.

Au bord de la nuance 35 CD 4 (position 8), on observe même une valeur de ΔD_J négative, inexpliquée, tandis que les deux autres valeurs de ΔD_J positions 5 et 7) restent faibles en rapport avec le niveau d'homogénéisation chimique constaté.

Etant donné que, pour cette nuance, les 3 valeurs de ΔD_J ont été mesurées à partir d'une seule éprouvette Jominy, celles-ci sont considérées suspectes et ne seront pas retenues dans la discussion finale.

La trempabilité d'un acier peut également s'exprimer par un diamètre critique idéal défini par Grossmann (3) et correspondant à une structure à 50 % de martensite pour une trempe idéale. Nous avons calculé ces diamètres critiques idéaux à partir des courbes de trempabilité Jominy par la méthode de Field (4).

L'augmentation de trempabilité se traduit par une augmentation du diamètre critique idéal (tabl. V et fig. 9).

Pour les nuances 30 NCD 2 et 30 NCD 8, on observe, outre l'augmentation du diamètre critique après homogénéisation, une légère augmentation du diamètre critique au bord du jet, où la microségrégation tend à diminuer. Par ailleurs (tabl. V), si l'on compare les diamètres critiques moyens obtenus sur chaque nuance, avant et après homogénéisation, par la méthode de Field (4), au diamètre critique calculé globalement pour la nuance correspondante, par la méthode de Grossmann (3), on voit que ce dernier, approximatif, se situe tantôt plus près du diamètre critique mesuré avant homogénéisation, tantôt plus près du diamètre critique mesuré après homogénéisation.

DISCUSSION

Ayant constaté l'efficacité du traitement d'homogénéisation d'une part sur la réduction des microségrégations et d'autre part sur l'augmentation de la trempabilité, il est intéressant de voir dans quelle mesure ces deux phénomènes peuvent être reliés l'un à l'autre quantitativement.

On sait depuis les travaux de base de Grossmann (3) que les divers éléments d'alliage ont une influence différente sur la trempabilité. Une étude récente, effectuée par Moser et Legat (5), montre que l'influence d'un élément d'alliage sur la trempabilité peut être caractérisée par un coefficient d'action B tel que :

$$Di = Di_0 B^x$$

formule dans laquelle :

- Di diamètre critique idéal
- x teneur de l'élément en %
- Di_0 diamètre critique idéal quand $x = 0$

D'après la formule, ce coefficient B est égal au rapport des valeurs de Di pour 1 et 0 % de l'élément d'alliage considéré.

TABLEAU III : Résultats des essais de trempabilité Jominy (HRC).

Vitesse approximative de refroidissement à 700°C (en °C/s)		250		20		8		4		3		2,5		2,1	
Distance à l'extrémité trempée (en mm)		1,5		10		20		30		40		50		60	
Nuance	Echantillon	A (1)	B (1)	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
30 MD 6	Coquille	49		45		33		29		27,5		26,5		26	
	Jet position 1	48	49	34	44	27	32	24	26	22	22	20,5	20	18,5	20
	— 2	50	52,5	33	46,5	25	33	22,5	27,5	21,5	24,5	21	24	21	24
	— 3	49	52	32,5	48	26,5	32,5	24	27	22,5	24,5	21,5	22,5	20,5	21
	— 4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	— 5	49,5	51	38	47	28	33	24,5	28	23,5	25	23	23,5	23	22,5
	— 6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	— 7	50	53	37	48,5	28	34	26	29	24,5	27,5	24	27	24	26,5
	— 8	50	50	36,5	45,5	27,5	30	25	25	25	21,5	24,5	20	24	20
30 NCD 2	Coquille	49,5		40,5		31		28		27		26		25,5	
	Jet position 1	50	51,5	36,5	40	30	30	27,5	26	26,5	22	25	18,5	24	15,5
	— 2	50,5	52,5	36,5	41	29	32	27	28,5	26	27	24,5	26	23	24
	— 3	52	53	38,5	45,5	30,5	34	28	29,5	26,5	28	25,5	27	24,5	26,5
	— 4	51,5	53	40,5	45	31	33	29	29	27,5	27	26,5	26	26	25
	— 5	52	53,5	42	47	32,5	34	29,5	30,5	27,5	29	26,5	28,5	25,5	27,5
	— 6	51,5	53	40,5	44	31,5	33,5	28,5	30,5	27	28	26,5	26,5	25	25
	— 7	51,5	54	43,5	46,5	31,5	34	29	30,5	28	28,5	26,5	28	26	27
	— 8	51,5	51,5	42,5	47	31	36	29	30	27,5	28,5	27	27,5	26,5	26,5
30 NCD 8	Coquille	52		52		51		49		46,5		44		43	
	Jet position 1	53	54,5	52	53,5	48	52	42	48	39	45	38	44	38	44
	— 2	52,5	55	52	54	48,5	53	43	50	39	45,5	39	45	39	44
	— 3	53	54	51,5	53,5	48,5	53	42,5	52,5	40,5	51	40	50	40	49
	— 4	53,5	55	52,5	54	50	53	45,5	51,5	41,5	48	40	44	39,5	44
	— 5	52,5	53,5	51,5	53	49,5	52	46	49,5	42	44	40,5	43,5	39,5	43,5
	— 6	53	54,5	52,5	53,5	51,5	53	49,5	54	45,5	53,5	43,5	51,5	43,5	48,5
	— 7	52,5	54,5	52,5	54,5	51,5	53,5	49	52	46	48	45	44	44	42
	— 8	52,5	56	52	54	50,5	53,5	48	52,5	45,5	50	45	49	44	48
35 C 4	Coquille	53		40,5		31		23,5		18,5		16		15	
	Jet position 5	54	54,5	49	50	33,5	36	28	30	24	31	20	24,5	17	20
	— 7	54	55	46,5	50	33,5	37	23	31	24	30	20,5	24	17,5	20,5
	— 8	54,5	55	45	50,5	32,5	37,5	29,5	30,5	23,5	29,5	20	24	18	20
35 CD 4	Coquille	52		52		43		38		36		34		33,5	
	Jet position 5	55	55	53,5	54,5	44,5	48	38,5	41,5	34,5	38	34	34	35	33
	— 7	55,5	56	52,5	54,5	47	50	40,5	42,5	37	38,5	33	37	34	35,5
	— 8	52,5	54	51	52,5	42,5	44,5	38	39	35,5	37	33	35,5	32,5	34,5

(1) A : Sans homogénéisation préalable. — B : Homogénéisation préalable de 20 h à 1 175°C.

(2) G : Indice de grosseur de grain austénitique à 870°C.

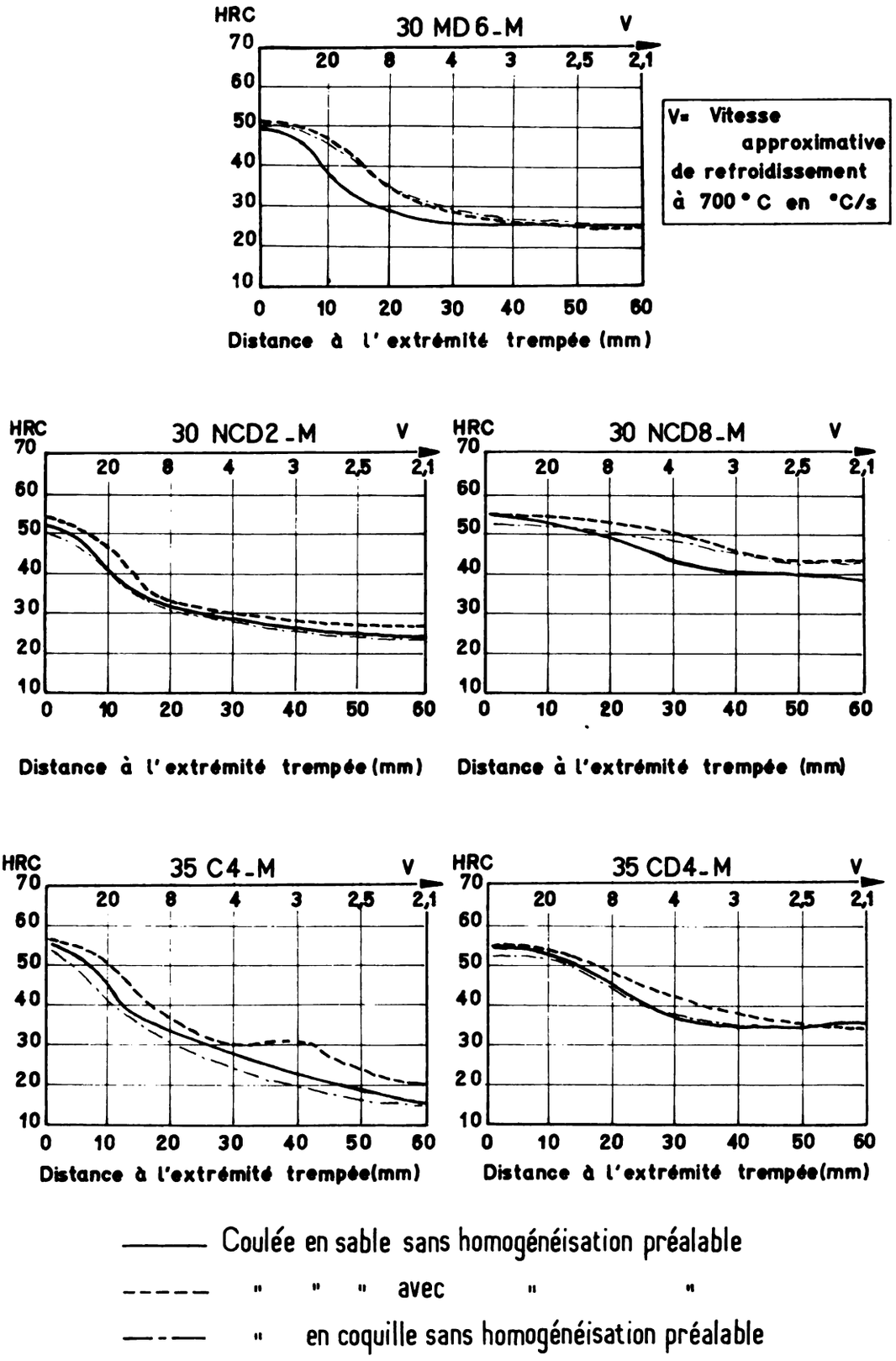


Figure 7. — Courbes Jominy pour une position moyenne (4 ou 5) de chaque nuance située dans la zone à cristallisation équiaxe, et pour l'éprouvette coulée en coquille.

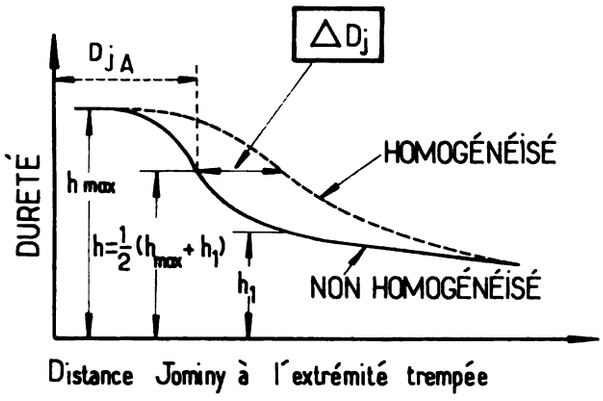


Figure 8. — Définition de ΔD_J, valeur représentati l augmentation de trempabilité et de D_{JA}, valeur sentative de la trempabilité à l'état non homogéné

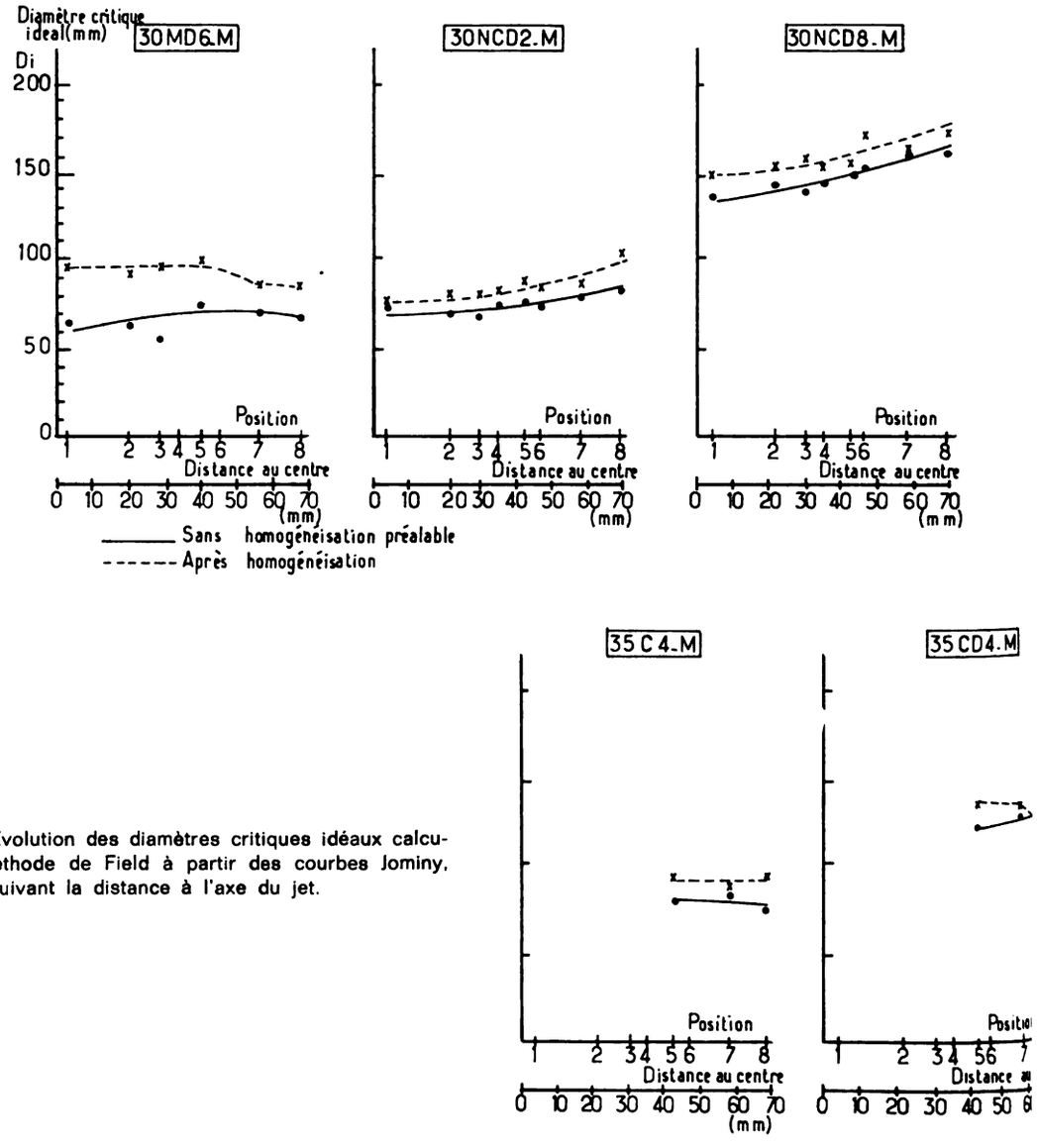


Figure 9. — Evolution des diamètres critiques idéaux calculés par la méthode de Field à partir des courbes Jominy, suivant la distance à l'axe du jet.

TABLEAU IV : Mesure de l'accroissement de la trempabilité après homogénéisation, sur les courbes Jominy.

Position radiale	30 MD 6			30 NCD 2			30 NCD 8			35 C 4			35 CD 4		
	h (1)	D_{JA} (2)	ΔD_J (2)	h	D_{JA}	ΔD_J	h	D_{JA}	ΔD_J	h	D_{JA}	ΔD_J	h	D_{JA}	ΔD_J
1	36	9,6	6,4	39	9,04	1,6	46	23	12,7						
2	35	9,2	9,5	39	8,90	2,4	46	25,6	12,7						
3	37	7,4	9,5	40	9,61	3,2	47	22,2	> 41						
4				41	10,3	1,6	47	26,4	15,9						
5	37	10,7	6,4	41	10,7	3,2	47	27,6	6,4	42	11,4	4,0	45	19,2	5,6
6				40	10,3	1,6	48	34,2	25,4						
7	38	9,8	7,1	41	11,6	2,4	49	30,1	7,9	42	12,5	4,0	46	21,4	40
8	38	9,8	5,5	40	11,3	4,8	49	26,5	20,6	42	11,9	4,8	45	19,9	— 2,4
Valeurs moyennes	37	9,6	7,4	40	10,2	2,6	47	27	18	42	11,9	4,3	45		

1) Niveau de demi-dureté en HRC.

2) En mm.

TABLEAU V : Diamètres critiques idéaux approximatifs (en mm).

Méthode de calcul	Echantillon	30 MD 6		30 NCD 2		30 NCD 8		35 C 4		35 CD 4	
		A (1)	B (1)	A	B	A	B	A	B	A	B
Field	Coquille	97		82		165		76		130	
	Jet position 1	64	97	74	76	137	152				
	— 2	61	91	69	81	142	156				
	— 3	56	94	69	81	140	170				
	— 4			74	81	142	158				
	— 5	73	97	76	89	147	155	81	94	122	137
	— 6			74	81	155	173				
	— 7	69	89	79	86	160	165	84	91	130	137
	— 8	66	86	81	102	163	170	79	94	130	122
	Moyenne jet	65	92	74	85	148	162	81	93	124	135
Grossmann		67		88		154		60		106	

A : sans homogénéisation préalable.

B : après homogénéisation préalable de 20 h à 1 175°C.

La microségrégation jouant dans le sens d'une diminution du diamètre critique, nous ferons intervenir ce deuxième facteur en écrivant :

$$Di = Di_0 \, B^{\overline{I}}$$

Pour un état parfaitement homogène : I = 1 et l'on retrouve la formule énoncée ci-dessus.

A l'état brut de coulée :

$$Di_A = Di_0 \, B^{\frac{x}{I_A}}$$

A l'état homogénéisé :

$$Di_B = Di_0 \, B^{\frac{x}{I_B}}$$

Di_0 dépend seulement de la grosseur du grain et de la teneur en carbone. Or, la grosseur de grain reste la même (tabl. III) et, aux températures d'austénitisation mises en œuvre, on peut considérer que l'hétérogénéité chimique du carbone dans l'austénite est négligeable devant celle des autres éléments. En effet, le coefficient de diffusion du carbone à ces températures, est de 10^2 à 10^3 fois supérieur à celui du Si, 10^3 à 10^4 fois supérieur à ceux, voisins, du Mo, Cr et du Mn, et 10^5 fois à celui du Ni (6).

On considère donc que Di_0 est le même avant et après homogénéisation, d'où :

$$\frac{Di_B}{Di_A} = B^{x\left(\frac{1}{I_B} - \frac{1}{I_A}\right)}$$

Dans le cas de n éléments d'alliages, nous admettons que l'on peut écrire :

$$Di = K \, Di_0 \, B_1^{\frac{x_1}{I_1}} \, . \, B_2^{\frac{x_2}{I_2}} \, \ldots\ldots \, B_n^{\frac{x_n}{I_n}}$$

Le coefficient K est représentatif de l'interaction entre les divers éléments et est supposé constant avant et après homogénéisation, d'où :

$$\frac{Di_B}{Di_A} = B_1^{x_1\left(\frac{1}{I_{1B}} - \frac{1}{I_{1A}}\right)} \, . \, B_2^{x_2\left(\frac{1}{I_{2B}} - \frac{1}{I_{2A}}\right)} \, \ldots\ldots \, B_n^{x_n\left(\frac{1}{I_{nB}} - \frac{1}{I_{nA}}\right)}$$

Dans la mesure où les distances sur lesquelles s'effectue la diffusion des éléments pendant l'homogénéisation, restent du même ordre de grandeur pour les différentes nuances étudiées, ce rapport Di_B/Di_A calculé à partir des indices de ségrégation, devrait être en relation avec l'augmentation de trempabilité effective mesurée lors des essais Jominy.

Or, nous avons vérifié que, malgré un grain de solidification plus gros sur les nuances 30 NCD 8 et 30 MD 6 (fig. 4), qui n'intervient qu'indirectement sur la trempabilité en augmentant le niveau de microségrégation, les distances interdendritiques restent du même ordre de grandeur sur les jets de chaque nuance (environ 0,2 mm au bord à 1 mm maximum au centre).

Le rapport Di_B/Di_A est calculé pour chaque nuance étudiée à partir des valeurs B données par Moser et Legat (5) et des indices de ségrégation obtenus

TABLEAU VI : Calcul du rapport Di_B/Di_A en fonction de la composition et des indices de ségrégation moyens.

Elément	Coefficient B d'action sur la trempabilité	30 MD 6		30 NCD 2		30 NCD 8		35 C 4	
		I_A	I_B	I_A	I_B	I_A	I_B	I_A	I_B
Si	1,40			1,16	1,09			1,42	1,37
Mn	2,21	1,23	1,11	1,22	1,10	1,14	1,04	1,12	1,04
Ni	1,47					1,26	1,23		
Cr	2,13			1,15	1,13	1,22	1,08	1,27	1,15
Mo	3,275	1,42	1,26	1,38	1,34	2,27	1,36		
Di_B/Di_A		1,16		1,08		1,23		1,108	

en faisant la moyenne des indices mesurés pour les diverses positions radiales, respectivement à l'état brut (I_A) et après homogénéisation (I_B) (tabl. VI).

L'augmentation de trempabilité relative, calculée à partir des indices de ségrégation, peut s'exprimer par :

$$\frac{Di_B}{Di_A} - 1 = \frac{Di_B - Di_A}{Di_A} = \frac{\Delta Di}{Di_A}$$

Cette valeur, exprimée en %, est comparée, pour chaque nuance à la valeur relative de l'augmentation de la distance Jominy pour le niveau de demi-dureté :

$$\frac{\Delta D_J}{D_{JA}} \times 100,$$

dans le *tableau VII* et à la *figure 10*.

Le diamètre critique idéal étant une fonction voisine d'une exponentielle de la distance Jominy pour le niveau de demi-dureté, nous avons adopté la représentation :

$$\log \frac{\Delta Di\ \%}{Di_A} = f\left(\frac{\Delta D_J\ \%}{D_{JA}}\right)$$

Bien que la base de notre calcul en fonction des indices de ségrégation soit arbitraire et que ce type de représentation soit approximatif, on voit néanmoins, à la *figure 10*, qu'une certaine relation peut être établie quantitativement entre l'amélioration de l'homogénéité et l'augmentation de trempabilité.

Elle peut s'exprimer ici par la relation approximative suivante :

$$\log \frac{\Delta Di\ \%}{Di_A} = 0{,}70 + 0{,}0084\ \frac{\Delta D_J\ \%}{D_{JA}}$$

ou :

$$\left(\frac{\Delta D_i\ \%}{Di_A}\right) = 5 \times 10^{\ 0{,}0084\ \left(\frac{\Delta D_J\ \%}{D_{JA}}\right)}$$

Sans prétendre avoir la valeur d'une loi, compte tenu des approximations faites et de l'imprécision de certaines mesures expérimentales, cette relation montre néanmoins que là où la microségrégation apparait la plus fortement réduite par le traitement d'homogénéisation (30 NCD 8 et 30 MD 6), la trempabilité est la plus fortement augmentée.

Par contre sur la nuance 30 NCD 2 où le traitement d'homogénéisation affecte le moins le niveau de microségrégation, la trempabilité est la moins fortement affectée.

En dernier lieu, signalons que l'effet de l'homogénéisation est tel que la trempabilité des éprouvettes homogénéisées est en général supérieure (sauf pour la nuance 30 MD 6) à celle des éprouvettes coulées en coquille, dont la trempabilité nous donne un point de comparaison avec celle de la nuance correspondante, à l'état corroyé. La trempabilité des éprouvettes coulées en coquille est même souvent légèrement inférieure à celle des éprouvettes moulées non homogénéisées, ce qui est en bon accord avec le fait déjà observé que la courbe de transformation en refroidissement continu d'une nuance à l'état moulé est légèrement décalée vers des temps plus longs par rapport à celle de la même nuance à l'état corroyé.

TABLEAU VII : Augmentations relatives de la trempabilité calculée à partir des indices de microségrégation et à partir des courbes Jominy.

	30 MD 6	30 NCD 2	30 NCD 8	35 C 4
$\frac{\Delta Di}{Di_A} \times 100$	16	8	23	10,8
$\frac{\Delta D_J}{D_{JA}} \times 100$	77,1	25,4	66,9	36,1

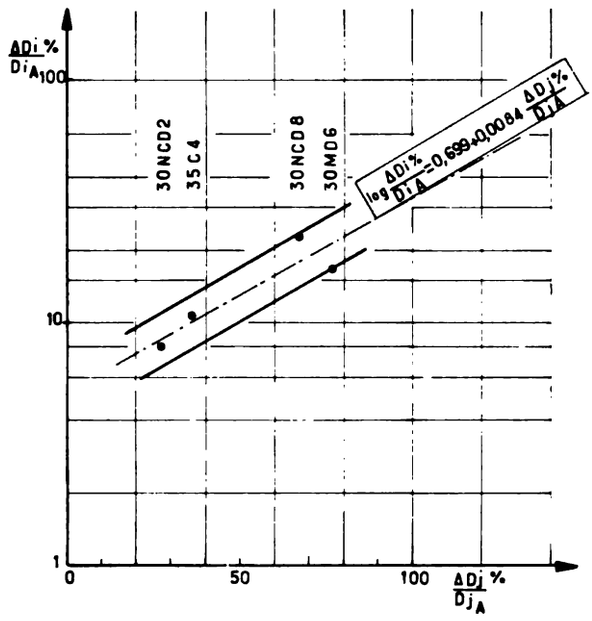


Figure 10. — Variation de l'augmentation de trempabilité relative après homogénéisation, calculée à partir de la variation des indices de ségrégation, en fonction de l'augmentation de trempabilité mesurée à partir des courbes Jominy.

CONCLUSION

Nous avons pu mettre en évidence que la microségrégation dendritique intervenait dans le sens d'une diminution de la trempabilité des aciers moulés alliés. Ainsi, au bord d'un jet de 150 mm de diamètre, la trempabilité de la zone périphérique, à cristallisation uniaxe, donc présentant une microségrégation relativement faible, peut être supérieure à celle de la zone centrale équiaxe, plus ségrégée.

Ce phénomène va à l'inverse de celui qui serait provoqué par une ségrégation majeure et qui, dans certains cas, peut le masquer.

Par ailleurs, dans un premier stade, nous avons pu montrer qu'une homogénéisation de 20 h à 1 175°C était efficace pour réduire le niveau de microségrégation et augmenter la trempabilité Jominy de cinq nuances d'aciers alliés moulés. Une recherche de relation entre l'augmentation de trempabilité et la réduction du niveau de microségrégation des divers éléments, affectés d'un coefficient d'action sur la trempabilité, a été faite. Des essais répétés sur une même nuance, pour des traitements d'homogénéisation variables permettraient de dégager de façon plus claire le mécanisme d'action de cette homogénéisation sur la trempabilité.

bibliographie

1 KULMBURG (A.), SWOBODA (K.). — Etude de la microségrégation dans des aciers alliés à outils. *Mikrochimica Acta*, Supplément I (1966), 160-172.

2 LEGER (M.T.), DETREZ (P.). — La diffusion dans les aciers moulés lors des traitement thermiques d'homogénéisation. *Rev. Métallurg.*, 62, n° 9 (septembre 1965), 767-783.

3 GROSSMANN (M.A.). — Hardenability calculated from chemical composition. *Trans. AIME*, 150 (1942), 227-259.

4 FIELD (J.). — Calculation of Jominy end-quench curve from analysis. *Metal Progress*, 43 (1942), 402-405.

5 MOSER (A.), LEGAT (A.). — Influence des éléments d'alliage sur la trempabilité des aciers. *Berg- und Hüttenmannische Monatshefte*, 112, n° 11 (novembre 1967), 321-331. Traduction dans *C.I.T.* du CDS n° 3 (1968), 643-664.

6 SMITHELLS (C.J.). — Metals reference book. Londres, Butterworths scientific Publications (1967).

caractéristiques mécaniques et résistance à l'usure des fontes blanches

Mme S. Parent-Simonin, J.C. Margerie
Centre Technique des Industries de la Fonderie (Paris)

Communication présentée aux " Journées Métallurgiques d'Automne 1971 " organisées par la Société Française de Métallurgie.

On a comparé la résistance à l'usure, soit par frottement abrasif, soit par l'impact de grenailles d'acier, de 12 nuances de fontes blanches alliées. Certaines sont du type classique (martensitiques au nickel-chrome, ou à 15 % de chrome et 3 % de molybdène) ; d'autres nuances comportent en outre du vanadium, du bore, du cuivre, du phosphore.

Les résultats montrent que le classement par ordre de résistance croissante n'est pas du tout le même pour les deux genres de sollicitation.

Les caractéristiques mécaniques (résistance à la traction, à la flexion, au choc, dureté) ont été déterminées sur éprouvettes non usinées.

L'importance du rôle de la matrice et celle des traces de graphite éventuellement présentes paraît plus grande que celle de la nature et de la quantité de carbures, la forme de ceux-ci étant toutefois notable. Des tableaux permettent d'orienter le choix vers la qualité la mieux adaptée à chaque cas particulier envisagé.

INTRODUCTION

Compte tenu des réflexions approfondies des spécialistes H. Wahl (1) et R. Courtel (2), soulignant bien les difficultés propres aux études relatives à l'usure, nous nous proposons de rendre compte de travaux dont le but est de mieux guider le choix des fondeurs et des utilisateurs de matériaux moulés très durs, en l'occurrence les fontes blanches alliées, dans les cas pratiques divers où soit l'abrasion, soit l'usure par impact joue le rôle capital.

Parmi les applications que nous avons en vue — et dont nous nous sommes inspirés pour la détermination de la méthode expérimentale — figurent en premier lieu les cylindres de laminoirs à trempe définie, les éléments de broyeurs, les pièces des machines à projeter la grenaille, les éléments de pompe, les matériels de forage et d'excavation utilisés dans

les travaux publics, étant entendu que la mise hors d'usage de ces pièces peut impliquer des phénomènes complémentaires comme l'érosion, la corrosion, la cavitation, la fatigue mécanique ou thermique, etc. (*).

L'originalité de notre travail, se situant dans un domaine technique d'actualité où les publications sont nombreuses (3), consiste à étudier les résistances à l'usure d'une famille de matériaux de constitutions distinctes mais comparables, certains étant d'ailleurs classiques tandis que d'autres sont au contraire peu connus, et à déterminer parallèlement leurs caractéristiques mécaniques essentielles, malgré la difficulté ou l'impossibilité d'usiner les éprouvettes par les moyens courants ; de plus, l'usure est appréciée dans tous les cas par deux méthodes mettant en jeu des processus distincts. Comme matériaux de référence, nous avons choisi des fontes blanches martensitiques au nickel-chrome-molybdène (comparables à celles qui sont connues commercialement sous le nom de « Ni-Hard ») et une fonte plus fortement alliée au chrome-molybdène (15 % de chrome et 3 % de molybdène, comparable à la fonte dite « alliage 15/3 »). Ces fontes font l'objet d'une importante documentation des principaux producteurs de nickel et de molybdène qui les ont mises au point (4) (5) et continuent de les perfectionner. L'ensemble des nuances étudiées ne présentant pas de difficulté d'élaboration particulière, notamment au four électrique, il est facile d'évaluer comparativement leur prix de revient suivant le cours des métaux qui les composent et d'en tenir compte pour l'appréciation de leur utilité industrielle.

MÉTHODE EXPÉRIMENTALE

Elaboration des alliages. Eprouvettes.

A l'aide d'un four à induction de 100 kg, on a élaboré une douzaine de fontes dont les compositions dont données dans le *tableau I*. Pour chaque nuance, on coulait, outre l'éprouvette spéciale pour analyse spectrométrique, des plaquettes d'usure, des jets échelonnés de diamètre 6 à 50 mm pour essais mécaniques, des éprouvettes coulées en coquilles pour essai de traction ainsi que des éprouvettes dilatométriques pour déterminer la température des points de transformation.

Les charges ont été constituées essentiellement de matières industrielles : fonte hématite constante et de très bonne pureté, fer OH et ferroalliages ou métaux purs.

Ces fontes pour la plupart nettement hypoeutectiques ont été surchauffées jusqu'à 200°C environ au-dessus de leur température de liquidus déterminé par analyse thermique.

Pour limiter l'usinage, nous avons utilisé autant que possible des éprouvettes brutes de moulage.

Essais mécaniques.

a) Flexion : moulage en sable pour l'obtention d'éprouvettes de flexion (∅ 22 mm, longueur 290 mm, entre appuis).

b) Choc : même éprouvette que pour l'essai de flexion, mais tronçonnée, afin d'obtenir un barreau de ∅ 22 mm, longueur 120 mm (pour une distance entre appuis de 100 mm).

c) Traction : sur éprouvette ∅ 8 mm coulée en coquille.

d) Dureté : mesures Vickers et Shore sur jets de diamètres échelonnés (∅ 50 mm à 6 mm) coulés en sable et sur éprouvette massive (100 × 100 × 60) coulée contre refroidisseur.

Essais d'usure.

Les essais d'usure ont été exécutés, dans les conditions qui seront précisées plus loin, par prélèvement de « molettes » dans des jets de 15 mm de diamètre pour le frottement abrasif et par rectification de « plaquettes » (125 × 40 × 16) servant de cible à une grenailleuse pour l'usure par chocs. Dans les deux cas, les ébauches étaient moulées en sable.

On vérifiait que malgré les différences de massiveté, donc de vitesse de solidification des diverses éprouvettes, leur structure comprenait les mêmes constituants, à la finesse près. Il faut convenir cependant que ces différences de structure limitent notablement la signification de certaines comparaisons.

Pour le choix des compositions chimiques, on a tenu compte des types d'application envisagés et des essais en cours dans les différents pays : des travaux russes (6) (21) font état de fontes alliées au vanadium, ou au tungstène ou simultanément en ces deux éléments avec éventuellement du niobium, tandis que des travaux européens (7), canadiens ou américains (8) (9) sont généralement axés sur les fontes au nickel-chrome, au nickel-chrome-molybdène ou au manganèse-molybdène-cuivre.

Les fontes étudiées peuvent se classer en deux groupes principaux :

a) Groupe A : celles qui contiennent environ 15 % de chrome et ont en conséquence, compte tenu de leur teneur en carbone (voisine de 3,5 %) des carbures eutectiques du type M_7C_3 (10). L'une d'entre elles (à 6 % de vanadium) contient en outre des carbures VC.

(*) Cette recherche a été menée en liaison avec les Commissions techniques de métallurgie des fontes et des cylindres de laminoirs en fonte du C.T.I.F. et a reçu une aide financière de la Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique.

TABLEAU I : Composition chimique des fontes étudiées.

	Repères	C (%)	Si (%)	Mn (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)	P (%)	Cu (%)	B ajouté (%)
(1)	A1	3,37	0,54	0,70		15,38					
	A2	3,55	0,60	0,71		14,69	2,86				
	A4	3,60	0,65	0,71		16,10		6,34			
(2)	A5	3,51	0,46	0,53	4,15	1,33	0,21				
	A6	3,44	0,51	0,58	4,25	1,40	0,23		0,55		
(3)	A7	3,79	0,72	3,45	2,73	0,40					
	A8	3,69	0,71	1,95	3,60	0,50					
(4)	12	3,57	0,66	0,49	4,05	1,28					0,05
	A12 bis	3,01	0,66	0,49	4,28	1,33					0,05
(5)	A13	3,36	0,64	0,70	6,24	7,83					
	A14	3,18	0,76	3,14			0,21			0,88	
	A15	3,49	0,76	2,34		2,57	0,70				

(1) : Influence du molybdène et du vanadium dans une fonte de base à 15 % de chrome.
(2) : Influence du phosphore dans une fonte classique pour cylindre de laminoir.
(3) : Remplacement partiel du nickel par du manganèse dans une fonte blanche martensitique au Ni-Cr.
(4) : Influence de la teneur en carbone dans une fonte ayant reçu une addition de 0,05 % de bore
(5) : Fontes diverses faisant l'objet de marques commerciales ou de brevets.

b) Groupe B : celles qui ont des teneurs en chrome inférieures à 3 % et dont les carbures eutectiques sont du type M_3C.

Une nuance intermédiaire (du genre « Ni-Hard type 4 ») contenant environ 8 % de chrome et 6 % de nickel a une structure qui la rattache en fait au groupe A.

Traitements thermiques.

Les fontes de cette nature sont souvent améliorables par des traitements thermiques qui homogénéisent leur matrice et la durcissent plus ou moins en y précipitant des microcarbures ou en décomposant l'austénite résiduelle parfois abondante à l'état brut de coulée. Nos essais ont été effectués soit à l'état brut de coulée, soit après un traitement thermique choisi compte tenu de l'expérience industrielle et des résultats d'essais dilatométriques (dilatomètre Chevenard, éprouvettes coulées en sable, de diamètre 5 mm et de longueur 35 mm, non usinées ; vitesse de chauffage et de refroidissement : 300°C/h).

Les douze nuances peuvent être classées de la façon suivante :

Classe 1 : les nuances présentant une transformation « réversible » Ac - Ac_3 (au chauffage) et Ar - Ar_3 (au refroidissement) :

A1 - A14 - A15 : structure initiale perlitique.

A2 : structure initiale austénitique devenant α vers 600°C.

A4 : matrice non résolue (α).

Classe 2 : les nuances présentant des anomalies (précipitations de carbures) puis une forte expansion de graphitisation (au-delà de 800°C) et au refroidissement la transformation martensitique Ar''' :

A5 - A6 - A7 - A8 - A12 - A12 bis.

TABLEAU III : Caractéristiques mécaniques des fontes étudiées (éprouvettes non usinées).

	Résistance à la traction sur éprouv. à l'état brut	Résistance à la flexion			Résistance au choc			Dureté des jets ∅ 14			Dureté des jets ∅ 50		
		A l'état brut	Après traitement		A l'état brut	Après traitement		A l'état brut	Après traitement		A l'état brut	Après traitement	
		$\overline{m}$	$\overline{m}$		$\overline{m}$	$\overline{m}$		$\overline{m}$	$\overline{m}$		$\overline{m}$	$\overline{m}$	
	(daN/mm²)	(daN/mm²)	(daN/mm²)		(daJ)	(daJ)		(H_v)	(H_v)		(H_v)	(H_v)	
Classe I													
A1	49,0°	82,9	99,2 +		1,70°	2,89 +		658	564		498	497	
A2	50,8	35,3	83,3 +		2,39	2,36 +		549	826		577	800	
A4	37,2	80,9	61,7		3,33	1,14		727	773		476	773	
A14	34,8°	52,3	84,7 +		1,99°	3,12 +		564	533		535	503	
A15	41,7	45,8	74,1		2,28	2,36		586	601		539	531	
Classe II			a	b		a	b		a	b		a	b
A5	36,8	37,5	60,1	47,3°	2,36	2,11	1,82°	545	742	779	669	675	625
A6	25,2	30,2°	36,2°	45,2°	1,70°	1,23°	1,04°	658	698	680	698	648	678
A7	30,8	33,4	49,0°	55,2	2,20	1,61°	1,65	537	689	706	701	671	664
A8	44,6	36,9	62,5		2,27	2,15		535	675		635	659	
A12	43,7	41,4	64,7	69,8	2,55	2,07	2,25	596	549	571	706	508	536
A12 bis	44,0	38,7	42,4	44,0°	2,19	1,86°	1,68°	512	493	556	621	450	638
Classe III													
A13	46,6	52,2	81,9		2,48	1,82		409	718		443	706	

$\overline{m}$ = moyenne de quatre essais H_v = dureté Vickers

N.B. : Classement suivant l'essai dilatométrique.

Les repères + signalent les combinaisons favorables de résistance à la flexion statique et à la flexion par choc.

Les repères o signalent les combinaisons défavorables.

RÉSULTATS DES ESSAIS

Essais mécaniques.

Le *tableau III* groupe les résultats des essais mécaniques selon le classement établi pour les traitements thermiques.

Rappelons que les éprouvettes de traction, de flexion et de choc sont brutes de moulage : barreaux de diamètre 22 mm pour les essais de flexion et de choc, éprouvette de diamètre 8 mm coulée en coquille pour les essais de traction.

Pour la classe 1 (fontes non autotrempantes), le traitement thermique a permis d'améliorer la résistance à la flexion des nuances A1, A2, A14 et A15, la résistance au choc des fontes A1 et A14 et la dureté de la fonte A2.

Par contre, la qualité au chrome-vanadium A4 a une résistance à la flexion et une résistance au choc nettement affaiblies par le traitement thermique pratiqué, tandis que sa dureté a nettement augmenté.

Pour les fontes de la classe 2, à transformation martensitique (dilatométrique), il faut distinguer les résultats selon le traitement thermique a ou b.

Le traitement thermique a (qui a fait disparaitre l'austénite résiduelle) ne modifie pas systématiquement les caractéristiques mécaniques.

Par contre, le traitement thermique b (qui a donné une structure aciculaire plus grossière et qui a laissé de l'austénite résiduelle dans la fonte A12 bis) augmente la résistance à la flexion de toutes les qualités à l'exception de la nuance A12 bis qui reste inchangée ; la résistance au choc est également inchangée sauf celle de la fonte qui diminue de 0,6 daJ. La

dureté augmente pour les fontes A5/b, A7, A8 et diminue pour A12 bis.

La résistance à la flexion a été calculée conventionnellement par la formule classique de la résistance des matériaux. On remarque qu'elle est voisine de la résistance à la traction pour les fontes de la classe 2 (qui sont aussi celles du groupe à carbures M_3C) alors qu'il n'en est pas ainsi pour les autres fontes. Rappelons toutefois que les vitesses de solidification de l'éprouvette de traction (∅ 8 mm en coquille) et de flexion (∅ 22 mm en sable) sont malheureusement très différentes, ce qui gêne l'interprétation.

Essais d'usure.

Nous avons jugé utile, pour les applications en cause, de recourir à deux types d'essais, l'un par frottement abrasif, l'autre par l'impact de grenailles produisant des chocs répétés (effet de matage ou de martelage).

Essai d'usure par frottement abrasif.

L'essai est effectué sur une machine Marcellin, appartenant à l'Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique, dont le principe consiste à faire frotter par glissement une pastille ou molette d'un diamètre de 15 mm et d'épaisseur 3 mm du matériau et étudier sur un cylindre ∅ 30 mm animé d'un mouvement de rotation uniforme (250 tr/mn).

Dans nos essais, la molette en fonte blanche est fixe et supporte une charge de 1 980 g, le cylindre est en acier 30 NCD 16 traité thermiquement, recouvert par projection au chalumeau à plasma d'oxyde de fer Fe_2O_3. Le dépôt d'oxyde peut en quelque sorte figurer la calamine qui recouvre les cylindres finisseurs en fonte après laminage de quelques tonnes de tôle (7). La détérioration superficielle due à l'abrasion par les oxydes de fer serait, avec la fatigue thermique. le facteur déterminant du rebut des cylindres de laminoirs selon R.V. Williams et G.M. Boxall (11).

Le calcul hertzien classique (2) montre que, dans les conditions initiales, la pression maximale est d'environ 20 daN/mm² à une profondeur de 0,02 mm. C'est l'ordre de grandeur de la pression qui s'exerce en service à la surface d'un cylindre de laminoir au contact de la bande. Mais il est évident qu'au fur et à mesure de l'usure, la pression à l'interface molette/cylindre diminue très rapidement.

L'usure est appréciée simultanément :

— par la mesure du « plat » qui se forme sur la molette au cours de frottement (corde en mm),

— par la perte de poids.

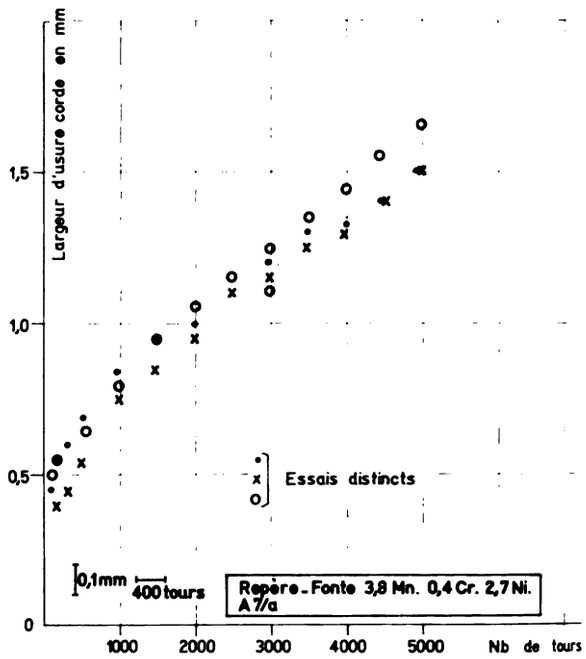


Figure 1. — Exemple de progression de l'usure par frottement abrasif (Machine Marcellin de l'I.S.M.C.M.). Cas de la fonte A7/a.

Chaque nuance traitée thermiquement (on a dû toutefois rejeter les éprouvettes traitées de la nuance A5, leur état de surface après usinage n'étant pas acceptable) a fait l'objet de cinq essais menés jusqu'à 5 000 tours du cylindre ; toutefois des mesures intermédiaires après 100, 500 et 1 000 tours permettent d'observer la progression de l'usure (fig. 1).

Quatre fontes, dont deux avec une matrice entièrement austénitique, ont été essayées à l'état brut de coulée.

Les résultats sont donnés au *tableau IV*. En dépit d'une assez grande dispersion (fig. 1), les valeurs données étant des moyennes calculées d'après cinq essais consécutifs, il apparait un classement largement significatif. On peut voir à la *figure* 5 le profil d'usure très lisse observé sur la fonte A1 prise comme exemple.

On remarque immédiatement sur le *tableau IV* que la référence A2 (15/3) s'use très vite, même après que le traitement thermique ait porté sa dureté à plus de 800 HV. Ce résultat surprenant est la confirmation d'une observation semblable relative à une autre coulée étudiée au cours d'essais préliminaires.

Par contre, la fonte n° 7 (variété de fonte au Ni-Cr à teneur en manganèse renforcée) surtout après le traitement thermique a se comporte mieux quoique moins dure.

BLEAU IV : Résistance à l'usure par frottement abrasif. Classement par pertes de poids croissantes.

Repères	Usure après 5 000 tours en mm	Perte de poids en mg après 5 000 tr	Structure des molettes	
			Carbures	Matrice
A12/a	1,32	6,7	Fe_3C avec bore	Sorbite - Plages de troostite - Réseau de graphite.
A12 bis/a	1,35	8,25	Fe_3C avec bore	Idem.
A4	1,42	9,0	$(FeCr)_7C_3$ + VC	Sorbite.
A12/b	1,46	15,35	Fe_3C avec bore	Sorbite - Un peu de troostite - Réseau de graphite.
A7/a	1,55	15,25	Fe_3C	Sorbite avec austénite résiduelle.
A8/b	1,7	24,7	Fe_3C	Perlite et martensite - Graphite primaire.
A1	1,72	19,75	$(FeCr)_7C_3$	Perlite avec carbures coalescés.
A15	1,72	19,25	Fe_3C	Perlite - Nombreux carbures coalescés - Quelques plages de martensite.
A7/b	1,80	26,7	Fe_3C	Troostite et martensite.
A14	1,82	26,25	Fe_3C	Perlite - Petits carbures coalescés.
A6/a	1,85	23,25	Fe_3C	Martensite avec plages austénite résiduelle.
A12 bis/b	1,90	28,3	Fe_3C	Austénite avec grosses aiguilles de martensite.
A13	1,92	30,5	$(FeCr)_7C_3$	Austénite recouverte de carbures aiguillés.
A2	2,02	34,75	$(FeCr)_7C_3$	Martensite revenue.
A6/b	2,1	43,35	Fe_3C	Austénite avec grosses aiguilles de martensite.
Fonte brute de coulée				
A12	1,7	22,5	Fe_3C	Austénite-martensite.
A13	1,9	31,0	$(FeCr)_7C_3$	Austénite.
A15	1,96	33,6	Fe_3C	Perlite.
A2	1,96	34,0	$(FeCr)_7C_3$	Austénite.

Enfin, les nuances au bore A12/a et A12 bis/a, ne sont pourtant pas très dures et contiennent peu de graphite (*) se comportent le mieux ; la ance au vanadium A4 est intéressante.

sai d'usure par l'impact de grenaille.

Deux plaquettes d'usure par nuance (125 × 40 × mm³) ont été usinées, puis rectifiées. Ces pièces nt disposées circulairement par série de huit plaettes dites « enclumes », autour d'une turbine centle projetant la grenaille perpendiculairement sur s cibles.

Nous avons utilisé une grenaille d'acier angulaire, type G 40 A Abrasteel (**) de dureté moyenne 840 Vickers. La vitesse de la turbine était réglée à 7 500 tr/mn et la grenaille était remplacée tous les 100 cycles, c'est-à-dire au bout de 20 mn (un cycle correspond au passage dans la turbine de 500 g de grenaille).

(*) Ce graphite est réparti régulièrement sur l'ensemble des échantillons aux interfaces carbure-matrice (fig. 2).

(**) Marque diffusée par « Poudres et Grenailles Métalliques », 2, rue Alfred-de-Vigny, Paris 8e.

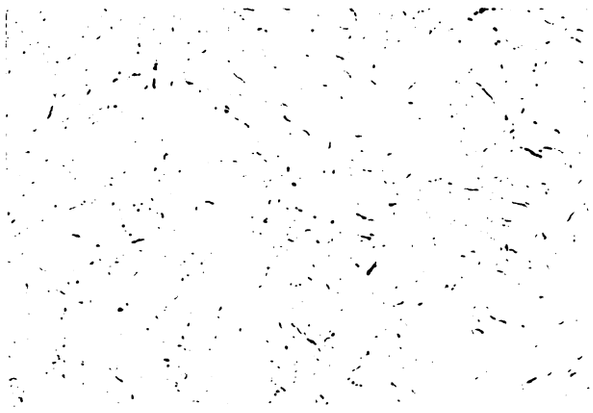


Figure 2 a. — Microstructure du graphite dans l'échantillon A12 bis/a. Sans attaque.

× 250

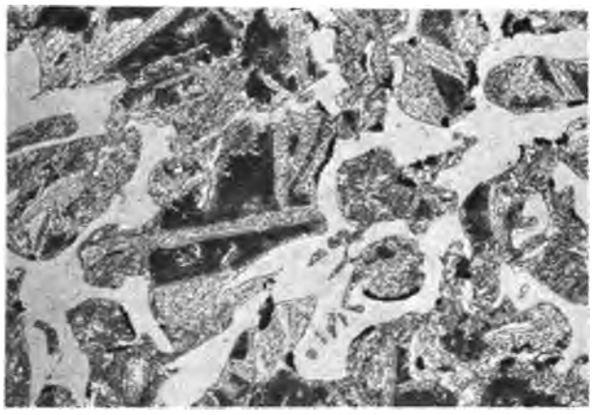


Figure 2 b. — Répartition du graphite au contact des carbures dans ce même échantillon. Attaque Nital 4 %.

× 1 000

Les granules, de poids moyen 2,5 mg (écart-type 0,075 mg) sont ainsi projetés à la vitesse initiale de 400 m/s (correspondant à une énergie cinétique de 0,2 J par granule).

L'usure était appréciée par la perte de poids après 400, 1 000 et 1 400 cycles. Le *tableau V* contient les pertes de poids après 1 400 cycles de toutes les fontes traitées thermiquement.

Ce tableau montre un classement tout différent du précédent (usure par frottement abrasif). Ici, les fontes-témoins sont très bien placées, surtout A2 (15-3) ; pour A7, le traitement b est maintenant préférable au traitement a.

La nuance au vanadium A4 est, ici encore, intéressante.

INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

Caractéristiques mécaniques.

Répétons que les caractéristiques mécaniques ont été déterminées sur des éprouvettes non usinées, de massivetés différentes ; nos résultats ne permettent donc pas de prévoir les caractéristiques de pièces réelles et d'étudier les corrélations entre ces caractéristiques. On constate que les résistances à la traction, à la flexion, au choc sont, comme les duretés, très largement variables d'une nuance à l'autre et souvent très sensibles au traitement thermique.

Nous retiendrons principalement les classements suivants :

Résistance à la flexion :

supérieure à 80 daN/mm^2 : excellent
inférieure à 50 daN/mm^2 : mauvais.

Résistance au choc :

supérieure à 2,4 daJ : excellent
inférieure à 2,0 daJ : mauvais.

On remarque immédiatement que les fontes les mieux placées sont les deux fontes à 15 % de chrome traitées thermiquement (carbures M_7C_3) (A1 et A2) et la fonte au Mn-Mo-Cu (carbures Fe_3C).

Toutes les trois sont dans la classe 1 (non auto-trempantes). Les qualités défavorisées sont au contraire situées dans la classe 2 (fontes auto-trempantes A5, A6, A7) lorsque le traitement thermique est mal adapté ; parmi elles, la nuance A6 qui contient 0,5 % de phosphore est mauvaise aussi bien à l'état brut de coulée qu'après les deux traitements pratiqués.

Les autres nuances peuvent être bonnes, soit qu'on se contente de caractéristiques moyennes, soit qu'on n'attache qu'une importance secondaire à l'un des deux types de sollicitations.

Il est logique d'attribuer une grande influence à la teneur en carbone. Ici, en comparant les deux nuances au bore A12 (C = 3,57 %) et A12 bis (C = 3,01 %), on voit que l'abaissement de la teneur en carbone est très nettement désavantageux contrairement à l'observation habituelle dans les fontes blanches courantes.

Usure par frottement abrasif.

D'après A.N.J. de Gee (13), le facteur principal de la résistance à l'abrasion serait en général la

.EAU V : Résistance à l'usure par impact de grenaille d'acier. Classement par pertes de poids croissantes.

Repères (Fontes traitées)	Perte de poids en grammes	Structure des plaquettes	
		Carbure	Matrice
A2	1,5	$(FeCr)_7C_3$	Martensite revenue.
A13	3,0	$(FeCr)_7C_3$	Austénite recouverte de carbures aiguillés.
A5/b	3,5	Fe_3C	Martensite revenue. Plages auténite.
A7/b	3,7	$(FeCr)_7C_3$ + VC	Martensite revenue. Plages auténite et troostite.
A4	5,6	$(FeCr)_7C_3$ + VC	Sorbite avec plages de troostite.
A12 bis/b	6,3	Fe_3C (avec bore)	Martensite - Sorbite - Austénite.
A7/a	7,2	Fe_3C	Sorbite avec plages d'austénite.
A5/a	7,7	Fe_3C	Martensite, très peu d'austénite résiduelle.
A6/a	8,0	Fe_3C	Martensite, très peu d'austénite résiduelle.
A6/b	8,4	Fe_3C	Austénite avec grosses aiguilles de martensite.
A/1	12,6	$(FeCr)_7C_3$	Perlite avec carbures coalescés.
A15	13,4	Fe_3C	Perlite - Nombreux carbures coalescés - Quelques plages de martensite.
A14	16,5	Fe_3C	Perlite - Petits carbures coalescés.
A8/b	16,5	Fe_3C	Perlite et martensite - Graphite primaire.
A12/b	21,0	Fe_3C (avec bore)	Sorbite - Un peu de troostite - Graphite le long des carbures.
A12 bis/a	25,5	Fe_3C (avec bore)	Sorbite - Plages de troostite - Graphite le long des carbures.
A12/a	28,5	Fe_3C (avec bore)	Sorbite - Plages de troostite - Graphite le long des carbures.

· Toutes les nuances sont traitées thermiquement.

té du support avant écrouissage, mais cet auteur ɜt que dans le cas particulier où il se forme de artensite, le durcissement par écrouissage peut favorable. D'ailleurs, dans une publication assez ıte comparant diverses fontes et des aciers, Boyes note que c'est bien la dureté après ɹissage qui a la meilleure corrélation avec la tance à l'abrasion (14).

a comparaison de l'usure à la dureté globale, ·lle des carbures ou à celle de la matrice ne uit ici à aucune relation simple.

ın note cependant que les cinq meilleures fontes ɹne matrice essentiellement sorbitique de dureté ɜrée. Il se trouve que les fontes au bore de ce lot présentent un peu de graphite en réseau. Comme, en outre, elles devancent des nuances pourtant très appréciées en général, on peut estimer que leur comportement est remarquable et justifierait des essais d'application.

Le rôle favorable du graphite (lubrification et captation des particules abrasives détachées) a d'autre part été mis en cause par des essais effectués au laboratoire de Chavanne-Delattre à Saint-Chamond et qui consistaient à faire frotter sur un disque en tôle divers échantillons de fontes : les témoins en fonte trempée (sans graphite), comparables à nos fontes A5 ou A8, s'usaient 2 à 3 fois plus vite que des fontes à graphite sphéroïdal pourtant beaucoup moins dures (17).

TABLEAU VI : Caractères métallographiques déterminés sur les plaquettes d'essai d'usure par impact (ordre de résistance décroissante).

Repères (Fontes traitées)	Type de carbures	Microdureté des carbures	Proportion % en volume	Microdureté de la matrice	Dureté HV
A2	$(FeCr)_7C_3$	1 172	27,5	704	826
A13	$(FeCr)_7C_3$	1 193	30,9	622	711
A5/b	Fe_3C	916	37,6	569	698
A7/b	Fe_3C	1 022	42,4	502	718
A4	$(FeCr)_7C_3$ + VC	1 449	28,1	453	688
A12 bis/b	Fe_3C (B)	1 035	31,2	470	637
A7/a	Fe_3C	983	38,2	448	692
A5/a	Fe_3C	1 061	37,9	526	699
A6/a	Fe_3C	1 111	41,1	609	702
A6/b	Fe_3C	1 040	42,5	469	677
A1	$(FeCr)_7C_3$	1 027	24,4	342	491
A15	Fe_3C	804	32,9	406	561
A14	Fe_3C	997	28,1	362	531
A8/b	Fe_3C	895	Graphite primaire	430	687
A12/b	Fe_3C (B)	1 052	34,0	470	633
A12 bis/a	Fe_3C (B)	1 092	26,9	358	510
A12/a	Fe_3C (B)	827	38,0	325	504

On voit aussi, en comparant les deux premières (A12/a et A12 bis/a), que la teneur en carbone et la proportion de carbures (respectivement 38 % et 26 %) n'ont pas grande influence. Cette observation est contraire à celle du mémoire (6) qui présente une diminution régulière de l'usure par abrasion en fonction de la proportion de carbures (variant de 20 à 45 %) pour une gamme de fontes blanches assez diverses. On note que la nuance A6 (à 0,5 % de phosphore) est très mal classée.

La comparaison des nuances A7/a, A7/b et A8 montre qu'on peut remplacer sans dommage une partie du nickel par du manganèse.

Enfin, les fontes austénitiques (A2 et A13) à l'état brut de coulée s'usent très vite, ce type d'abrasion ne paraissant pas provoquer un écrouissage suffisant pour y former de la martensite et la composition chimique donnant peut-être d'ailleurs une austénite trop stable (rappelons que les auteurs russes (6) donnent la préférence aux matrices austénitiques instables d'hypertrempe surtout quand elles sont asso-

Figure 3. — Micrographie électronique par émission d'ions (Balzers). Structure de la matrice de la fonte A7/b, matrice non résolue au microscope optique.

× 4 000

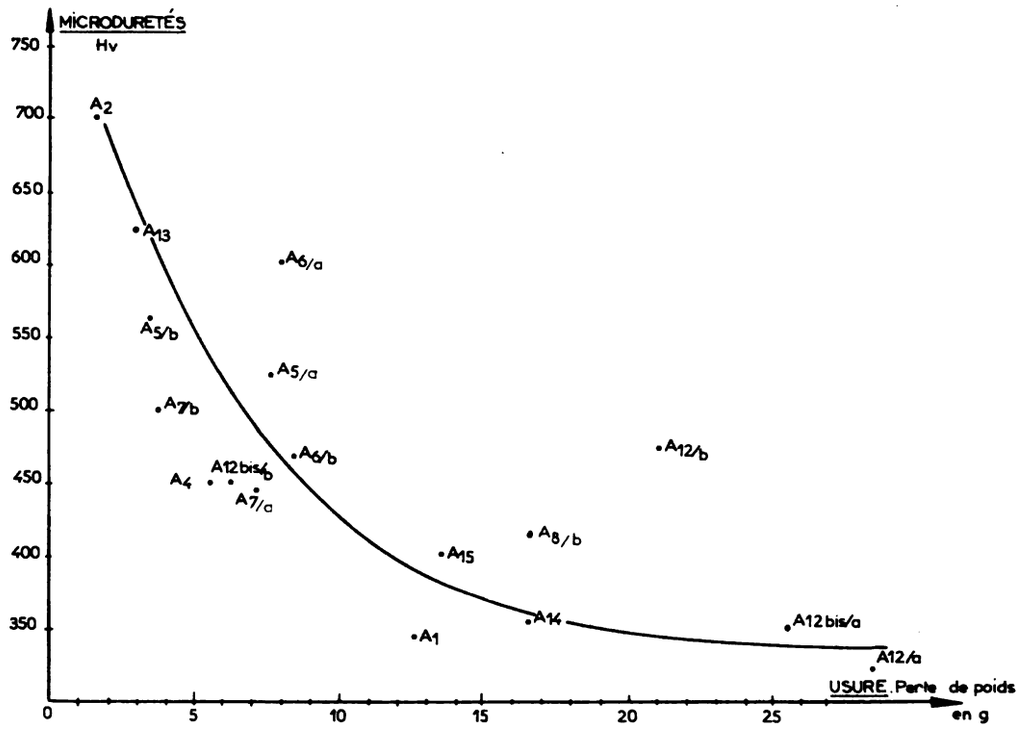


Figure 4. — Corrélation entre la microdureté de la matrice et l'usure par grenaillage.

ciées à de grandes proportions de carbures VC ou NbC).

Usure par impact de grenailles.

Pour améliorer l'interprétation des résultats des essais d'usure, la structure des plaquettes a été examinée avec plus de précision. Les carbures ont été identifiés aux rayons X ; leur proportion a été mesurée au microscope quantimétrique QTM ; on a déterminé les microduretés de la matrice et des carbures (tabl. VI) ; enfin, la matrice étant souvent difficile à résoudre optiquement, on a fait quelques examens aux grossissements de 4 000 et de 10 000 à l'aide d'un métioscope (*) (fig. 3).

Reportons-nous au *tableau V*. Il n'apparait guère possible de relier clairement l'usure par grenaillage à la nature des carbures, à leur proportion ni à leur dureté. Par contre, la corrélation avec la microdureté de la matrice est assez nette (fig. 4). Les matrices aciculaires sont visiblement avantageuses. S'il est vrai que les trois fontes au bore qui contiennent du graphite sont les plus mal classées, la position de la nuances A12 bis/b, au bore mais sans graphite, montre que c'est le graphite et non le bore qui est responsable de l'usure accrue, du moins dans le cas où le traitement thermique donne une dureté convenable de la matrice.

La comparaison des fontes martensitiques au Ni-Cr-Mo (A5 et A6) montre que le phosphore n'a pas ici d'influence claire ; en raison d'une plus grande dureté de la matrice avec les traitements pratiqués, les nuances A7, où la réduction du nickel a été compensée par le manganèse, se comportent mieux que la nuance classique A8/b.

L'efficacité du molybdène dans les fontes à 15 % de chrome apparait clairement ici ; contrairement au cas du frottement abrasif, l'alliage du type 15/3 traité (A.2) a le meilleur comportement, alors que son homologue sans molybdène résiste médiocrement à l'impact. L'influence du vanadium (A4) serait sans doute encore meilleure s'il était possible d'y associer une plus grande dureté de la matrice. La quantité de carbure Fe_3C ne parait pas avoir d'importance notable (A12/a et A12 bis/a).

On retiendra surtout, en définitive, que les deux types d'essais d'usure donnent des classements tout à fait différents et que plusieurs facteurs (graphite, dureté de la matrice) ont des influences opposées sur leurs résultats.

(*) Appareil de microscopie ionique mis aimablement à notre disposition par la Société Balzers.

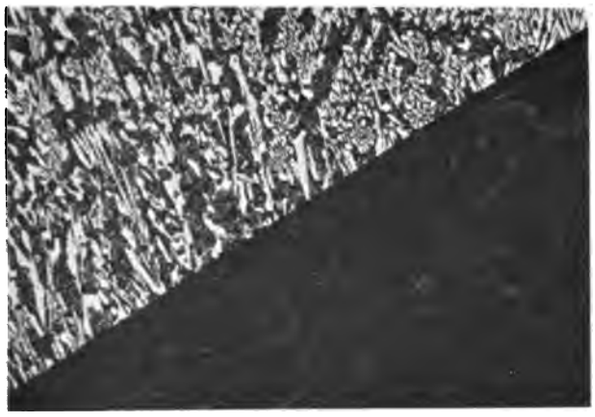


Figure 5. — Structure de la fonte A1, au voisinage de la face usée par abrasion (molette). Attaque Nital 4 %.

× 250

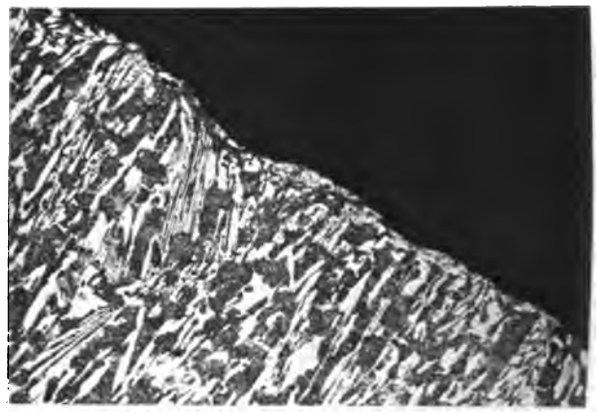


Figure 6. — Structure de la fonte A1, au voisinage de la face usée par grenaillage (plaquette). On remarque la déformation et la fissuration des carbures. Attaque Nital 4 %.

× 250

Remarques sur les structures.

Les propriétés des fontes se rattachant en général plus directement à leur structure qu'à leur composition chimique, il convient d'examiner plus en détail les structures dans le voisinage immédiat des régions usées des molettes (frottement abrasif) ou des plaquettes (grenaillage). Grâce à la collaboration du laboratoire du Prof. R. Courtel, nous avons pu obtenir quelques micrographies électroniques (répliques de bords par la méthode de la double empreinte vernis-carbone-platine (fig. 7) (15). Mais cette méthode étant longue et délicate, nous avons dû, le plus souvent, nous contenter des micrographies optiques, déjà assez instructives.

On constate d'abord que, malgré les réserves faites plus haut au sujet des massivetés et des vitesses de solidification des éprouvettes, les structures des molettes et des plaquettes de la même nuance sont à peu près semblables dans les régions superficielles usées (fig. 5 et 6).

Ensuite, on note que les profils d'usure par frottement abrasif sont toujours très lissés, même dans le cas d'une usure accentuée (fig. 5) ; au contraire, certaines plaquettes ont un profil d'usure vallonné (fig. 6).

L'observation des surfaces grenaillées est donc plus intéressante ; on y voit d'ailleurs que les divers types de carbures sont susceptibles de se déformer considérablement sous le martelage des granules et, parfois, de se fissurer transversalement selon une série de clivages parallèles au plan d'usure, jusqu'à une profondeur de l'ordre de 1/10 de millimètre.

Ceci est observable dans les carbures M_7C_3 comme dans les carbures M_3C (dans tous, l'orientation dominante de la plus grande dimension des cristaux est perpendiculaire au plan d'usure, étant donné notre manière de prélever les éprouvettes. Cette fissuration disloque les carbures et il arrive que la matrice soit mise en relief (fig. 7).

On comprend alors le rôle essentiel de la matrice qui doit être assez solide pour empêcher les carbures de se déformer, de se cisailler et de se disloquer et pour mieux résister elle-même à l'usure, une fois mise en relief.

Les carbures de vanadium VC ont une forme étoilée remarquable (fig. 8) qui contribue peut-être à limiter par ancrage la déformation des carbures M_7C_3 avec lesquels ils sont enchevêtrés.

Figure 7. — Micrographie électronique (C.N.R.S.). Mise en évidence d'un profil d'usure par grenaillage (A2) ; réplique de bord prélevé suivant la méthode mise au point au C.N.R.S. (15).

× 3 900

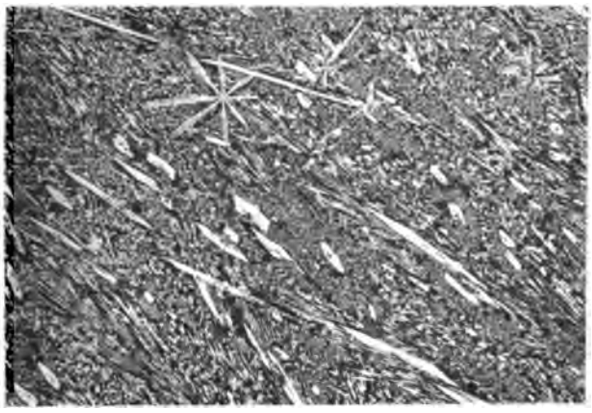


Figure 8. — Structure de la fonte A4 à 15 % de Cr et 6 % de V (jet de 15 mm) après traitement thermique. On remarque les carbures étoilés du type VC. Attaque au réactif de Catella.

× 100

Les carbures massifs sont évidemment fragiles ; c'est pourquoi dans le cas des fontes à carbures M_3C, la forme ledeburitique de l'eutectique parait préférable, les lacunes austénitiques empêchant la propagation des fissures au sein de la phase carbure.

Notons que ce mécanisme d'usure par fragmentation des carbures a été clairement observé sur certains cylindres de laminoir (7).

D'autre part, la déformation des carbures, sans fracture, a été déjà observée près de la surface de boulets broyants et surtout de socs de charrue (14).

Dans les conditions industrielles les plus fréquentes du frottement au contact de matériaux granuleux abrasifs en cours de forage, broyage, laminage, l'usure apparait donc comme une combinaison des effets produits par nos deux types d'essais. Cette observation ne laisse pas d'être embarrassante puisque les fontes que nous avons étudiées se classent très différemment selon l'un ou l'autre.

L'examen micrographique en coupe des surfaces usées en service est donc du plus haut intérêt pour apprécier lequel des deux mécanismes est primordial dans chaque cas d'application.

CONSIDÉRATIONS PRATIQUES

Afin de faciliter le choix des solutions pratiques, nous proposons les *tableaux VII* à *IX* qui classent qualitativement deux à deux les ordres d'avantage qu'elles présentent dans le champ des caractéristiques mécaniques, des résistances à l'usure par frottement abrasif et des résistances à l'usure par impact de grenailles.

TABLEAUX VII à IX : Classification des nuances suivant la combinaison deux à deux de leurs propriétés.

	Tenue à l'usure par frottement abrasif (*)			
	Très bonne		Bonne	Mauvaise
Caractéristiques mécaniques	Très bonnes		A1 A14	A2
	Bonnes	A12/a	A15 A8/b	A13
	Mauvaises	A4 A12 bis/a	A7	A6

(*) Données manquant pour la fonte A5 traitée thermiquement.

	Tenue à l'usure par grenaillage			
	Très bonne		Bonne	Mauvaise
Caractéristiques mécaniques	Très bonnes	A2		A1 A14
	Bonnes	A13	A5/a	A12/a A15 A8
	Mauvaises	A5/b	A4 A7	

	Tenue à l'usure par frottement abrasif (*)			
	Très bonne		Bonne	Mauvaise
Tenue à l'usure par grenaillage	Très bonne		A4	A2
	Bonne		A7	A6 A8
	Mauvaise	A12	A14 A1 A15	

(*) Données manquant pour la fonte A5 traitée thermiquement.

Notons que, dans ces tableaux, on n'a retenu que les fontes traitées thermiquement en indiquant, si nécessaire, le signe distinctif du traitement correspondant.

Hautes caractéristiques mécaniques et bonne tenue au frottement abrasif.

La nuance A6 est à écarter puisqu'elle a, à la fois, de mauvaises caractéristiques mécaniques et une mauvaise tenue au frottement.

Par contre, on peut espérer améliorer la nuance A4 du point de vue caractéristiques mécaniques en modifiant ou en supprimant le traitement thermique, car, à l'état brut, elle a de très bonnes caractéristiques mécaniques ; les essais préliminaires avaient permis d'obtenir des valeurs plus élevées.

Trois nuances restent en compétition : A12/a si l'on donne la préférence à la tenue au frottement ; A1 et A14 si les caractéristiques mécaniques priment ; pour ces dernières on pourra encore choisir entre une meilleure résistance à la flexion (A1) et une meilleure résistance aux chocs (A14).

Hautes caractéristiques mécaniques et très bonne tenue à l'usure par impact de grenailles.

La nuance A2 (15 % Cr - 3 % Mo) est particulièrement remarquable, la fonte A13 au Ni-Cr (du genre Ni-Hard type 4) la suit de très près ainsi que la fonte A5 au Ni-Cr-Mo.

Quant à la nuance A4, comme dans le cas précédent, on peut espérer améliorer les caractéristiques mécaniques par un traitement approprié sans altérer ses bonnes caractéristiques d'usure.

Bonne résistance à une usure faisant intervenir simultanément le frottement abrasif et l'impact de grenailles.

Quoique de beaucoup la plus coûteuse en raison de sa haute teneur en vanadium (7 %), la fonte n° 4, telle que nous l'avons traitée thermiquement, a une position privilégiée.

La fonte A7 (au Mn-Ni-Cr) est par contre économique (remplacement partiel du métal par le manganèse) et elle résiste assez bien aux deux types d'usure. Les fontes au manganèse sont étudiées particulièrement en U.R.S.S. (18).

Malheureusement, ces deux fontes ont de très médiocres résistances mécaniques (au choc surtout). Vu les remarques faites à propos de la fonte A12 bis (à 3,01 % de carbone seulement), il semble qu en diminuant modérément la proportion de carbures dans ces fontes (dont la matrice doit avoir de bonnes qualités mécaniques) on pourrait espérer maintenir leur résistance à l'usure ; et d'après l'expérience banale, on devrait améliorer leur résistance au choc.

RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

Parmi les enseignements de cette étude, nous retiendrons particulièrement les suivants :

1. Dans les applications pratiques où l'on envisage d'utiliser des fontes blanches pour résister à l'usure par abrasion, il est bon d'analyser le plus précisément possible les conditions du contact avec les particules abrasives afin de déterminer l'ordre d'importance qu'il convient de donner aux influences respectives du frottement continu et du martelage par projection ; à cet effet, l'étude micrographique en coupe des surfaces frottantes peut donner des renseignements précieux sous réserve que la technique opératoire soit très soignée.

D'autre part, il convient d'apprécier aussi l'importance des efforts mécaniques (statiques ou dynamiques) pouvant entraîner la rupture des pièces (nous excluons les effets éventuels de corrosion et de cavitation que nous n'avons pas étudiés).

2. Lorsque le mécanisme d'usure se fait principalement par frottement abrasif et que la surface usée reste très lisse (aux grossissements micrographiques de l'ordre de 250) sans déformation ni rupture des carbures, on pourra admettre, sous réserve de vérification directe ultérieure, que la présence du graphite est favorable et on recherchera une matrice de dureté modérée, du type sorbite.

3. Dans les cas où la surface usée présente des vallonnements associés à la flexion ou au clivage des carbures (bien visibles au grossissement 250), on admettra qu'il faut éviter toute trace de graphite et rechercher soit une matrice martensitique aussi dure que possible, soit une matrice austénitique instable, écrouissable dans les conditions de service.

La quantité, la nature et la structure cristallographique des carbures paraissent alors avoir moins d'importance que leur forme, leur répartition ou leur orientation. Les formes aciculaires ou « ajourées », peu favorables à la propagation des clivages parallèlement au plan d'usure, seraient plus favorables que les formes massives.

4. Les *tableaux VII* à *IX* permettent d'orienter sommairement le choix vers les fontes qui — parmi celles que nous avons examinées — conviennent le mieux pour la solution de tel ou tel problème pratique.

Les fontes blanches alliées que l'on recommande couramment se trouvent effectivement bien classées, dans l'un au moins des cas envisagés. Cependant, on voit que des progrès sont encore possibles, soit par une étude plus approfondie des traitements thermiques — dont l'importance apparait clairement —

oit par la mise au point de compositions nouvelles, ıettant en jeu des éléments comme le vanadium (21), ɜ bore ou le cuivre.

lemerciements.

Nous tenons à remercier tout particulièrement ʌ. R. Courtel, directeur de recherches au C.N.R.S., pour ses conseils et les micrographies électroniques, M. Blouet, de l'Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique, pour les essais d'usure par frottement, M. Jaumain, de la Société Poudres et Grenailles Métalliques (Stains), pour les essais d'usure par grenaillage, la Société Balzers pour les micrographies électroniques à photoémission, la D.G. R.S.T. pour son aide financière.

bibliographie

1 WAHL (H.). — Problèmes généraux de classement dans le traitement des questions d'usure et en particulier des essais d'usure. *Giesserei* (23 juin 1966), 421. Trad. CTIF n° 3748.

2 CAUBET (J.J.). — Théorie et pratique industrielle du frottement. Préface de R. Courtel. Technip/Dunod, 1964, 390.

3 SIEFER (W.). — Jahresübersicht Sonderguss, Hartguss und Walzenguss. *Giesserei*, 58, n° 4 (1971), 89 (voir aussi les études bibliographiques précédentes).

4 Les fontes blanches martensitiques Ni-Hard. Propriétés et applications. Brochure du Centre d'Inf. du Nickel, 47 bis, av. Hoche, Paris 8ᵉ.

5 Les fontes blanches 15-3. *Fondeur d'aujourd'hui*, n° 220, 11.

6 POPOV (U.S.), NAGORNYS (P.L.). — Influence des carbures sur la résistance des alliages à l'usure par abrasion. Traduction CTIF n° 4008.

7 SHAUGNESSY (R.N.). — Usure et durée des cylindres de laminoirs continus à chaud. Traduction CTIF n° 3949.

8 WILLIAMS (W.M.), FARGE (J.C.). — Brevet français n° 1513-313, Sté Quebec Iron Foundries Ltd, Canada.

9 THIEME (J.C.), AMMARELLER (S.). — Rolling-mills rolls. Climax Molybdenum Company.

10 MARATRAY (F.), USSEGLIO-NANOT (R.). — Facteurs affectant la structure des fontes blanches au chrome et au chrome-molybdène. Brochure Climax-Molybdenum S.A., 61, av. Victor-Hugo, Paris 16ᵉ.

11 WILLIAMS (R.V.), BOXALL (G.M.). — Détérioration superficielle des cylindres de trains à bandes à chaud. *J. Iron Steel Inst.* (avril 1965), 369. Traduction CTIF n° 3667.

12 Traitements à basse température d'une fonte pour cylindres de laminoirs (Annexe au P.V. de la réunion du 20 janvier 1967 de la Commission technique des cylindres de laminoirs en fonte du C.T.I.F.).

13 de GEE (W.J.). — Material factors in friction and wear. Metal Institut TNO Communication, n° 2 (1967), 3-7.

14 BOYES (J.W.). — Essai d'abrasion pour fontes et aciers. *Iron and Steel*, 42, n° 1 (février 1969), 57.

15 HEURTEL (A.). — Etude des surfaces en microscopie électronique ; liaison avec l'optique. Séminaire dirigé par R. Courtel. Institut sup. des matériaux et de la Construction mécanique (2 juin 1967).

16 CHARBONNIER (J.), MARGERIE (J.C.). — Nouvelle contribution à l'étude générale des microségrégations dans les alliages fer-carbone du type fonte. *Mém. Sci. Rev. Métallurg.*, 64, n° 4 (avril 1967) 345.

17 Résistance à l'usure de quelques fontes pour cylindres de laminoirs. Contribution de la Société Chavanne-Delattre (St-Chamond) aux travaux de la Commission techn. des Cylindres de laminoirs en fonte du C.T.I.F. (avril 1971). Non publié.

18 LEVI (L.I.), GARBER (M.E.), ISYPIN (I.I.), MARKIN (I.S.), ROZHKOVA (E.V.). — Wear resistant chromium-manganese cast iron. *Russian Castings Production*, n° 9 (septembre 1967).

19 KAMEMSKY (R.), PISKOR (J.). — Cylindres à couche trempée indéfinie. *Slevarenstvi*, n° 12 (1967), 496. Traduction C.T.I.F. n° 3919.

20 FARGE (J.C.T.), CHOLLET (P.), YERNAUX (J.). — Effect of composition, cooling rate and heat treatment on properties of a new wear resistant white iron. *Foundry Trade Journal* (15 avril 1971).

21 SHALASHOV (V.A.), ZHUKOV (A.A.) et all. — White wear resisting vanadium iron. *Russian Castings Production*, n° 6 (1970), 267.

sommaire des mémoires

parus dans

les mémoires scientifiques de la revue de métallurgie décembre 1972

mémoires

Rosso (T.), Sarracino (M.). — Emploi du microscope à balayage pour l'observation des microautoradiographies à haut pouvoir de résolution et application à l'étude du comportement du soufre dans le fer α et le ferro-silicium à 3 %.

Guiraldenq (P.), Vieillard-Baron (B.), Hochmann (J.). — Influence de la composition et des traitements thermiques sur la structure et les caractéristiques mécaniques des aciers inoxydables martensitiques dérivés du type 16 % de chrome et 4 % de nickel.

Rosso (T.), Torti (G.), Colombo (R.L.). — Etude par les radiotraceurs de la diffusion intergranulaire du phosphore dans le fer de pureté électrolytique.

Gourcuff (F.), Renon (Mme C.), Martinod (H.). — Etude du processus de formation des fissures de corrosion sous tension dans un alliage d'aluminium.

Dirand (M.), Rimlinger (L.), Hertz (J.). — Etude par diffraction des rayons X et par microscopie électronique sur lames minces, de la phase Au-Cu II à antiphases périodiques et de la phase complexe Au-Cu III d'alliages du type $Au_{50}Cu_{50-x}Ga_x$.

Denanot (Mlle M.F.), Villain (J.P.). — Etude des nœuds étendus de dislocations dans les solutions solides ternaires à base de cuivre.

Lettre à l'Editeur :

Slesar (M.), Stefan (B.), Marek (P.). — Micromécanismes dus à l'influence de la cémentite sur la fragilisation des aciers doux.

Hocheid (B.), Collard (J.), Boncœur (M.), Roux (C.). — Contribution à l'étude de l'aptitude à la mise en forme par déformation plastique des alliages Pu-Ga.

Reynaud (B.), Raguin (J.). — Mise au point d'une méthode chromatographique d'analyse des traces d'azote dans l'oxygène industriel.

la coulée sous pression

J. Parisien
Chef de service au Centre Technique des Industries de la Fonderie (Paris)

Communication présentée à la Journée d'études sur la fonderie, organisée par la Société des Ingénieurs Civils de France, le 11 octobre 1972.

DÉFINITION

Bien que le terme de « coulée sous pression » paraisse en soi suffisamment explicite, il n'est peut-être pas inutile de définir rapidement le procédé ainsi désigné.

Contrairement à la plupart des techniques de fonderie, qui mettent en œuvre des moules destructibles ne produisant chacun qu'une seule pièce, la coulée sous pression utilise un moule métallique permanent, le plus souvent en acier, usiné avec précision et autorisant, dans certains cas, la coulée de plusieurs millions de pièces. Le métal liquide est introduit rapidement dans la cavité ou « empreinte » de ce moule, puis soumis à une pression élevée qui lui en fait épouser les moindres détails : cette pression est maintenue jusqu'à ce que la pièce moulée soit suffisamment refroidie, puis le moule est ouvert, son contenu est éjecté et un nouveau cycle peut commencer immédiatement.

Pour schématique qu'elle soit, cette description permet de dégager immédiatement certaines caractéristiques du procédé et d'en délimiter grossièrement le domaine d'application.

Les avantages particuliers de la coulée sous pression découlent principalement de l'utilisation d'un moule métallique et du contact intime assuré par la pression entre celui-ci et le métal coulé. Tout d'abord, il est bien évident que la précision des pièces ainsi obtenues est de même ordre que celle du moule ; ce dernier étant usiné, il offre à cet égard les mêmes garanties que n'importe quel ensemble mécanique. Par ailleurs, la solidification et le refroidissement sont, dans ces conditions, extrêmement rapides. Ceci implique d'une part la formation d'une structure à grain très fin, d'autre part, la possibilité de répéter les opérations de coulée à intervalles très rapprochés, donc avec une haute productivité.

DOMAINE D'APPLICATION

Séries.

Les moules utilisés en fonderie sous pression sont des ensembles mécaniques de précision, souvent fort complexes. Ils sont, de ce fait, relativement coûteux et doivent être amortis sur un nombre de pièces suffisant. La coulée sous pression est donc un pro-

cédé adapté aux moyennes et grandes séries. D'autre part, le réglage d'un moule sur machine et sa mise en équilibre thermique exigent un certain temps. Il est donc préférable, dans le cas de petites séries répétitives, de faire en sorte qu'un lot corresponde au moins à une journée de production.

Il est impossible d'indiquer, même approximativement, un nombre minimal de pièces au-delà duquel il est raisonnable d'envisager la coulée sous pression. Ce nombre peut en effet varier dans des proportions considérables en fonction de la taille des pièces, de leur complexité, de l'alliage utilisé, etc., chacune constituant un cas d'espèce. Dans le doute, la meilleure solution consiste évidemment à consulter un fondeur.

Dimensions des pièces.

L'application à un métal encore liquide de pressions qui, dans certains cas, peuvent dépasser largement 1 000 bars, engendre évidemment des forces proportionnelles à la surface des pièces. Une machine à couler sous pression doit donc développer une force de fermeture supérieure au produit de la pression par la surface projetée de la pièce ; c'est d'ailleurs par cette force qu'elle est caractérisée. La gamme des machines actuellement en service s'étend, pour ce qui concerne cette caractéristique, de quelques tonnes à plus de 3 000 tonnes.

S'il n'existe pas de limite inférieure à la taille des pièces justiciables du procédé, la limite supérieure résulte donc de la force de fermeture des machines existantes.

Bien que la valeur déterminante soit, comme nous venons de le voir, la surface projetée et non la masse, cette dernière permet peut-être plus facilement de se représenter les pièces correspondant aux extrêmes de cette gamme. Disons, pour fixer les idées, que les plus petites, comme par exemple les éléments de fermetures à glissières, ont une masse inférieure au gramme alors que les plus grosses, qui sont sans doute les blocs moteurs d'automobiles, atteignent 42 kg.

Epaisseurs.

La coulée sous pression est le procédé de fonderie le mieux adapté à la production de pièces très minces.

Les minima pratiquement réalisables sont évidemment fonction du tracé des pièces ; ils sont de l'ordre de 0,8 mm pour les alliages de zinc, 1,5 mm pour ceux d'aluminium et 2 mm pour le laiton. Ces épaisseurs très faibles permettent souvent de concurrencer avec succès les procédés de formage de tôles grâce à deux avantages particuliers à la fonderie : d'une part la possibilité de disposer autant de nervures qu'on le désire, ce qui favorise la production *de pièces légères* mais rigides, d'autre part, celle de faire venir directement de moulage, les bossages, goujons, etc., au lieu de devoir les rapporter par soudage.

En revanche, il n'est pas recommandé de dépasser 3 à 4 mm en épaisseur moyenne. Un tracé trop massif conduit à un ralentissement des cadences de production et à une usure plus rapide des moules ; il est donc défavorable au point de vue économique. Des épaisseurs excessives rendent en outre plus difficile l'obtention d'une santé interne satisfaisante et le respect de tolérances dimensionnelles serrées.

Alliages mis en œuvre.

Théoriquement, tous les alliages utilisés avec les procédés de fonderie classiques devraient pouvoir être également coulés sous pression. En fait, la gamme des matériaux pratiquement utilisables est sensiblement plus restreinte. Par ordre de températures de fusion croissantes, les alliages les plus couramment mis en œuvre sont les suivants :

Alliages de plomb et d'étain.

Nous ne les citerons que pour mémoire, le tonnage qu'ils représentent dans l'ensemble de la production étant infime. Leur coulée ne pose aucun problème particulier, ils se prêtent particulièrement bien à la production de très petites pièces de haute précision.

Alliages de zinc.

Cette catégorie, extrêmement importante par le tonnage et la diversité des pièces coulées, comprend essentiellement deux alliages: Z-A4G et Z-A4UIG souvent appelés sur le marché français respectivement Zamak 3 et Zamak 5. Leurs propriétés de fonderie sont excellentes et autorisent, entre autres, leur mise en œuvre sur les machines du type dit à chambre chaude qui sont les plus rapides et aussi celles dont l'automatisation pose le moins de problèmes. Ces alliages se prêtent particulièrement bien à la production de pièces minces, d'éléments mécaniques complexes et de pièces de décoration. Pour cette dernière application, ils sont généralement revêtus d'un dépôt galvanoplastique.

Leur principale limitation d'emploi est liée à la température d'utilisation, qui doit être modérée et en tous cas inférieure à 100°C.

Alliages de magnésium.

La coulée sous pression des alliages de magnésium est relativement peu développée en France ; ils se prêtent cependant fort bien à ce mode de transformation qui permet de tirer le meilleur parti de leur caractéristique la plus intéressante : la masse spécifique la plus faible de tous les alliages usuels.

Alliages d'aluminium.

Par l'importance des tonnages coulés, les alliages d'aluminium viennent largement en tête dans la production de la fonderie sous pression.

L'aluminium pur, de qualité A-5, est utilisé pour ses caractéristiques électriques, principalement dans la fabrication de rotors en court-circuit, ainsi que pour certaines applications nécessitant une résistance particulière à certaines agressions chimiques.

Les alliages normalisés sont l'A-S9U3, l'A-S9G et l'A-S12 ainsi que l'A-G10, mais le premier couvre à lui seul plus de 80 % des besoins. Ses excellentes propriétés de fonderie jointes à une heureuse combinaison de caractéristiques d'utilisation en font en effet le « cheval de bataille » des fondeurs sous pression et, sauf contre-indication précise, c'est lui qu'il convient de spécifier pour la très grande majorité des applications courantes.

Alliages de cuivre.

Les seuls alliages cuivreux couramment coulés sous pression sont les laitons et plus particulièrement la nuance U-Z40. Les propriétés d'utilisation en sont excellentes, notamment en ce qui concerne les caractéristiques mécaniques et électriques, l'usinabilité et la résistance à la corrosion. Leur prix au kg, joint à une masse spécifique relativement élevée, en font réserver l'utilisation à de petites pièces, le plus souvent dans les domaines des industries électriques et de la robinetterie.

Alliages ferreux.

Nous abordons là le domaine de la prospective. En effet, si la coulée sous pression des aciers, et notamment des aciers inoxydables, est évidemment susceptible d'ouvrir au procédé de nouveaux domaines d'application, l'usure très rapide des moules en rend la rentabilité très problématique, tout au moins dans l'état actuel des techniques. Cependant, de nombreux chercheurs travaillent sur ce problème et il est permis d'espérer que, dans un avenir raisonnablement proche, la coulée sous pression des alliages ferreux sortira du domaine du laboratoire pour entrer dans celui de l'industrie.

Complexité des pièces.

Si la fonderie dans son ensemble est sans aucun doute le procédé de transformation qui permet la plus grande liberté de tracé, la fonderie sous pression ouvre dans ce domaine un éventail de possibilités particulièrement large. Si large même qu'il est difficile d'en fixer les limites. En effet, le moule métallique utilisé peut être simplement constitué par deux blocs comportant chacun une partie de l'empreinte ; dans ce cas, il est bien évident que les pièces produites doivent nécessairement être exemptes de contre-

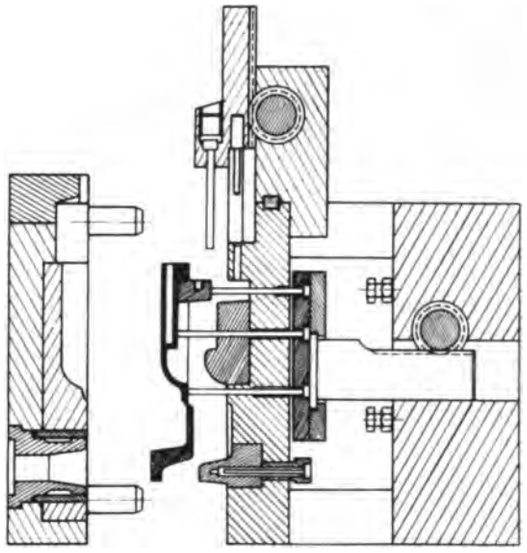


Figure 1. — Moule de fonderie sous pression dont les éléments mobiles permettent le moulage de parties en contre-dépouille.

dépouilles pour pouvoir sortir du moule. Si la fonderie sous pression se limitait à de tels outillages, ses possibilités seraient toutefois bien minces. Il est heureusement possible, grâce à des dispositifs mécaniques ou hydrauliques, dont la *figure 1* donne un exemple simple, de construire des moules comportant un grand nombre de parties mobiles et permettant de démouler à peu près n'importe quelle forme extérieure. Les carburateurs de la *figure 2* constituent à cet égard un exemple assez démonstratif pour se passer de commentaire.

En fait, les possibilités de la fonderie sous pression ne sont limitées que par la nécessité de démouler les broches ou noyaux formant les différents

Figure 2. — Carburateurs coulés sous pression en alliage de zinc.

détails de la pièce. Il n'est pas, en effet, de pratique courante d'utiliser des noyaux destructibles, permettant de mouler des cavités en contre-dépouille. Encore cette limitation doit-elle être assortie de quelques réserves, car l'utilisation d'éléments insérés dans les pièces, le post-formage et l'assemblage ouvrent des possibilités souvent sous-estimées.

Insertions.

Il est possible de disposer dans le moule, avant coulée, des éléments étrangers qui se trouvent ensuite emprisonnés dans les pièces. Ces éléments permettent de résoudre élégamment certains problèmes de forme ou de matériau.

La mise en place, par exemple, d'un tube de courbure quelconque permet d'obtenir dans la pièce un trou qu'une broche métallique ne saurait former, mais qu'il serait également impossible d'obtenir ultérieurement par usinage.

Dans le domaine des matériaux, ces insertions permettent la production de pièces composites mettant à profit des propriétés différentes. Citons par exemple les pignons en alliages de zinc coulés sur un axe en acier (fig. 3), les flasques comportant un ou plusieurs paliers en bronze, les aimants permanents mis en place dans une pièce amagnétique, les résistances électriques noyées dans les semelles de fer à repasser ou dans les ustensiles de cuisines... ; les possibilités dans ce domaine ne sont limitées que par l'imagination des bureaux d'études.

A la limite, la pièce coulée sous pression peut n'être qu'un appendice d'une « insertion » plus grosse qu'elle. Ainsi, par exemple, les barres et les anneaux de court-circuit des moteurs à cage d'écureuil, coulés en une seule opération dans et sur l'empilage des tôles, les arrêts d'extrémité des câbles de freins de bicyclettes, etc.

Figure 3. — Pignons en alliages de zinc coulés sous pression sur un axe en acier inséré dans le moule.

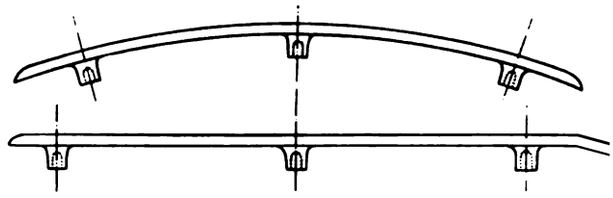


Figure 4. — Le moule nécessaire pour couler cette pièce cintrée serait inutilement coûteux. Le cambrage à froid de la pièce coulée à plat constitue la solution la plus économique.

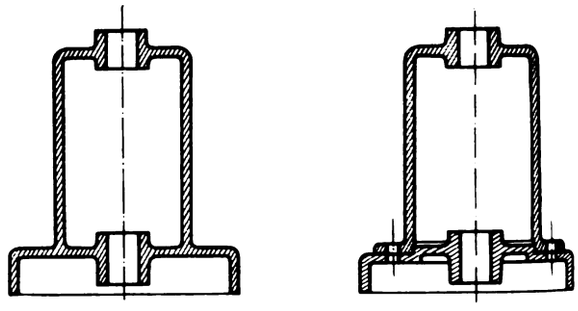
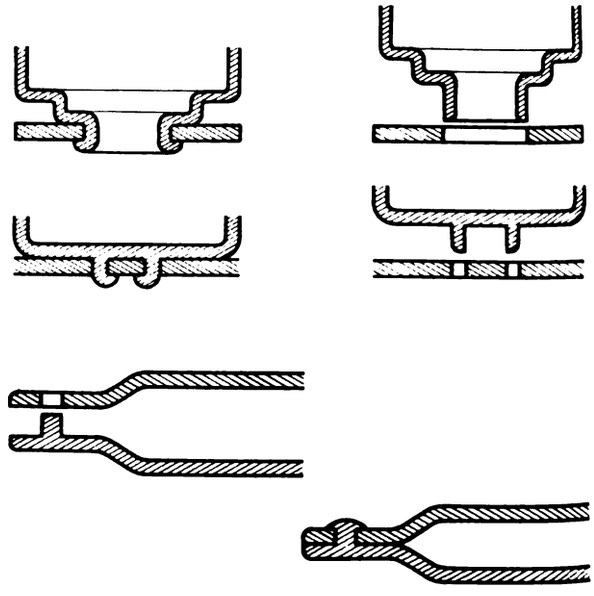


Figure 5. — La pièce de gauche, monobloc, est irréalisable en fonderie sous pression mais elle peut être facilement décomposée en deux éléments.



Figures 6 et 7. — Exemples d'assemblage par rivetage ou sertissage d'éléments coulés sous pression. Les appendices d'assemblage sont venus de fonderie avec les pièces.

ormage.

ductilité des alliages utilisés permet de sou- ı les pièces à des opérations de formage qui ınt, soit simplifier le travail du fondeur et réduire son prix de revient, soit autoriser la production rmes irréalisables à l'état brut de coulée. Ainsi, ıce de la *figure 4*, qui nécessiterait un moule exe et coûteux, peut être coulée sous pression ı compte avec les axes des trois bossages èles, puis cambrée à froid.

nblage.

ıssemblage de plusieurs éléments permet évi- ıent de réaliser des volumes fermés de forme onque (fig. 5). Ceci n'est pas particulier aux s coulées sous pression, mais celles-ci présen- ın avantage considérable, qui est la possibilité ənir de fonderie les trous et les goujons d'assem- , éventuellement même les rivets. Les *figures 6* montrent des exemples d'assemblages ainsi és.

TOLÉRANCES DIMENSIONNELLES, DÉPOUILLES

ı fonderie sous pression permet de tenir des ınces dimensionnelles extrêmement serrées qui, de nombreux cas, correspondent aux tolérances sation. Les pièces sont alors montées telles es sont livrées par le fondeur ou après avoir un usinage très réduit comme par exemple ıues taraudages.

es tolérances sont rassemblées en plusieurs aux dans un opuscule diffusé par les fondeurs pression (*). Il serait fastidieux de les reproduire ə les commenter ici ; disons seulement, à titre ımple et pour fixer les idées, qu'une cote entre points distants de 25 mm et situés dans la même ə du moule peut être normalement tenue à 05 mm s'il s'agit d'alliage de zinc et ± 0,08 mm 'agit d'alliage d'aluminium. Si cette cote traverse lan de joint, la tolérance normale est portée ces deux classes d'alliages respectivement à 13 et ± 0,19 mm.

ar ailleurs, pour qu'une pièce puisse être éjectée empreinte dans laquelle elle a été moulée sous ɜion, ou inversement pour qu'une broche ou un u puisse être extrait de la cavité qu'ils ont ée dans la pièce, il est le plus souvent néces- que les empreintes, broches ou noyaux com- ənt une certaine conicité ou dépouille. Comme les tolérances portant sur les cotes entre points, 'aleurs minimales à donner à ces dépouilles sont isées dans le document cité plus haut, en fonc- des alliages et des hauteurs de parois. Pour les alliages de zinc et d'aluminium, elles varient en gros, selon les cas, de 30' à 1°30'.

Ce problème des tolérances et des dépouilles est extrêmement important et il n'est certainement pas inutile de s'y attarder quelque peu. L'expérience semble en effet montrer que, faute d'une information suffisante, ses données échappent souvent aux utilisateurs.

Nous avons vu que la coulée sous pression est un procédé précis permettant le respect de tolérances serrées. Les quelques chiffres cités plus haut ainsi que les tableaux établis par les instances professionnelles montrent que cette affirmation est parfaitement fondée. Or, ces valeurs ne constituent en aucun cas des performances limites ; il est souvent possible, si l'utilisation des pièces le justifie, de maintenir certaines cotes dans des fourchettes encore plus étroites. Il est bon que les bureaux d'études soient informés de ces possibilités normales ou extrêmes, mais il est non moins indispensable qu'ils soient bien conscients de l'incidence de la précision demandée sur les prix de revient, en d'autres termes, qu'ils sachent éviter le piège de la « surspécification », tout en tirant le meilleur parti possible d'un procédé dont les possibilités sont très grandes.

De même qu'une pièce mécanique rectifiée à quelques microns près coûte plus cher que la même pièce brute de tournage, de même qu'un alésage coûte plus cher qu'un simple perçage, une pièce coulée sous pression affectée de tolérances serrées subit nécessairement une plus-value. La précision exigée affecte non seulement l'exécution du moule, mais souvent aussi sa conception ; les mises au point sont plus longues, les conditions de coulée doivent être surveillées de plus près, l'ébarbage, c'est-à-dire l'élimination des canaux d'amenée du métal, peut varier en prix du simple au décuple, selon qu'il s'agit d'un simple détourage à la presse ou d'une véritable reprise d'usinage, la procédure de contrôle peut devoir être entièrement différente, etc. Tous ces facteurs concourent évidemment à augmenter les prix de revient.

On ne saurait donc trop insister sur la nécessité de spécifications précises et justifiées. Il est tout à fait exceptionnel que toutes les cotes d'une pièce doivent être affectées de tolérances serrées, que toutes ses faces doivent être exemptes de toute trace d'ébarbage. Il est certes facile, et tentant, d'indiquer au bas d'un plan « tolérance générale h 7 » ; il est bon que le responsable réalise bien ce que cela coûte.

De toutes façons, un contact étroit entre l'utilisateur et le fondeur est indispensable si l'on désire à la fois mettre à profit toutes les possibilités de la fonderie sous pression et adopter pour ce faire les solutions les plus économiques. Il est évidemment avantageux que ce contact soit noué dès le stade de l'étude de la pièce, de manière à en orienter le tracé vers le compromis le plus favorable entre les différentes exigences.

---

a fonderie sous pression et ses possibilités techniques ormales. Edité par le Syndicat Général des Fondeurs le France, 2, rue Bassano, Paris-16e.

ÉTAT DE SURFACE

A l'état brut de fonderie.

L'état de surface obtenu par coulée sous pression est excellent et convient pour la plupart des applications n'ayant pas un but purement décoratif. Si l'on désire une surface polie, il est, bien entendu, nécessaire d'effectuer une opération de reprise. Là encore, il est indispensable de préciser au fondeur quelles seront les surfaces polies ; cette connaissance lui permettra souvent d'améliorer l'aspect des zones en question et, en tout état de cause, d'éviter d'y situer des joints ou des éjecteurs.

Traitements de surface.

Alliages de zinc.

Les alliages de zinc se prêtent particulièrement bien au polissage et aux revêtements galvanoplastiques. Ainsi traités, ils sont largement utilisés dans l'industrie automobile, pour la production de ce qu'on rassemble sous le vocable général de « chromes ». Ils entrent également pour une large part dans la construction des appareils électro-ménagers et des machines de bureau, ainsi que dans la production de la quincaillerie de bâtiment ou d'ameublement.

Les revêtements les plus courants sont les systèmes cuivre-nickel-chrome, mais tous les autres sont également applicables, notamment laitonnage, argenture et dorure.

Par ailleurs, une technique récemment mise au point permet l'oxydation anodique des alliages de zinc. L'aspect de la couche obtenue ne se prête guère à des applications décoratives, mais la protection contre la corrosion et l'abrasion est excellente.

Enfin, les pièces destinées à travailler en milieu agressif peuvent être simplement passivées par phosphatation ou chromatation.

Alliages légers.

Les alliages d'aluminium, et plus particulièrement ceux qui ne contiennent pas de cuivre, ont en général une résistance à la corrosion suffisante pour permettre leur utilisation sans traitement de surface. La protection peut être accrue par un traitement d'oxydation anodique mais, dans l'état actuel de la technique, l'aspect obtenu ne permet pas l'utilisation du procédé pour la décoration. La phosphatation et la chromatation agissent dans le même sens.

Le chromage des alliages légers est possible ; en raison de certaines difficultés technologiques, il est *toutefois* encore relativement peu répandu.

Alliages de magnésium.

Dans certaines conditions, en particulier lorsqu'ils sont en contact avec d'autres métaux, les alliages de magnésium peuvent subir une corrosion électrolytique. Ce phénomène peut être évité grâce à un revêtement galvanoplastique ou organique, ou à une oxydation anodique.

Alliages de cuivre.

Il est superflu de rappeler l'excellente résistance à la corrosion des alliages de cuivre. Dans certaines conditions, ils ont toutefois tendance à se recouvrir de sels basiques verts qui nuisent à leur bon aspect.

Leur nickelage et leur chromage ne présentent aucune difficulté particulière et éliminent cet inconvénient.

Peintures et vernis.

Tous les alliages de fonderie sous pression peuvent être protégés et/ou décorés par l'application de peintures ou de vernis. Cette possibilité ne comporte pratiquement pas de restrictions, si ce n'est pour les laques cuites à haute température, dont l'application est déconseillée sur les alliages de zinc.

« Texturation ».

L'obtention de grandes surfaces planes exemptes du moindre défaut de surface est délicate. Leur polissage ultérieur est extrêmement difficile, le moindre défaut de planitude étant mis en évidence par un effet de miroir déformant.

Il est possible de faciliter grandement la solution de ce double problème en remplaçant, dans le moule, ces surfaces lisses par un motif en faible relief, soit géométrique, soit reproduisant par exemple le grain d'un tissu, d'un bois, d'un cuir, etc. L'association de parties ainsi « texturées » et de parties polies, de même que l'application de peintures qui peuvent être partiellement essuyées avant séchage, permettent un nombre infini de combinaisons très décoratives, et moins coûteuses qu'une surface unie.

GARANTIE DE LA QUALITÉ

Les pièces moulées sous pression sont fabriquées par des entreprises spécialisées constituant l'une des branches des Industries de la Fonderie. Les fondeurs sous pression participent, dans le cadre de l'organisation professionnelle de la Fonderie, à l'action de promotion de la qualité menée par le Syndicat Géné-

ral des Fondeurs de France avec l'aide du Centre Technique des Industries de la Fonderie.

Cette action est basée sur la conformité à des normes de fabrication des pièces moulées sous pression (notamment A 57 703 pour les pièces en alliages légers, A 55 010 pour les pièces en alliages de zinc) et sur un contrôle en usine des moyens de fabrication et des caractéristiques des alliages mis en œuvre.

L'attribution du label Pressfran qui résulte de ces contrôles, lorsqu'ils sont positifs, apporte aux utilisateurs de pièces moulées sous pression, l'assurance du respect des règles de bonne technique par les fondeurs titulaires du label.

CONCLUSION

Tant par la diversité des alliages traités que par l'étendue de ses possibilités dans les domaines de la précision dimensionnelle et de la complexité des formes, le champ d'application de la coulée sous pression est immense et ses réalisations actuelles, pour spectaculaires qu'elles soient, sont loin d'en constituer les limites. Aussi ne saurait-on trop engager les industriels qui conçoivent un produit nouveau ou envisagent de moderniser la fabrication d'un produit existant à « penser fonderie », et plus particulièrement fonderie sous pression. Une industrie jeune, en pleine expansion, est à leur disposition pour les renseigner et les aider à atteindre leur but commun : produire mieux pour moins cher.

Délégation générale à la recherche scientifique et technique

Rapports des résultats des recherches menées sous contrats d'action concertée

Les rapports qui sont signalés dans cette rubrique peuvent être consultés à la bibliothèque du Centre de Documentation du CNRS, 26, rue Boyer, Paris-20e.

Le Centre de Documentation du CNRS assure aussi, à la demande, la reproduction des rapports soit sous forme de micro-fiches au prix de 3 F + TVA par micro-fiche (chaque micro-fiche contient jusqu'à 20 pages de texte), soit sous forme de photocopie au prix de 10 F + TVA par article de 10 pages et 7 F + TVA par fraction supplémentaire de 10 pages.

Paiement au CCP 9.131.62 ou par chèque bancaire établi au nom du Centre de Documentation du CNRS.

Métallurgie.

LECRIVAIN (L.). — Société Française Céramique, 75 - Paris.

Influence du taux de défauts réticulaires introduits par le broyage sur le mécanisme de frittage de l'alumine.

Contrat n° 67 01 297, 1970, 30 × 21,5, 52 p., 41 pl. h.t.

Etude par diffusion aux rayons X des perturbations de réseau introduites au cours du broyage. Les broyeurs à jets gazeux (air ou vapeur) provoquent très peu de perturbations mais sont peu efficaces au point de vue fragmentation. Le mécanisme de frittage, du type diffusion en volume, est le même pour tous les échantillons, quel que soit leur degré de perturbation réticulaire ; par contre, la cinétique de frittage est modifiée par cette caractéristique.

Usine d'Imphy, CREUSOT-LOIRE.

Phénomène de ductilité accrue par transformation $\gamma \rightarrow \varepsilon$, en cours de déformation plastique dans les matrices austénitiques base cobalt.

Contrat n° 69 01 803, 1971, 30 × 21, 14 p., 9 pl. h.t., bibl. (3 réf.).

Etude des mécanismes de déformation plastique de l'alliage « Phynox ». Existence d'un optimum à composition ($40 \leqslant Co \leqslant 50$) pour obtenir des limites d'élasticité importantes, due à la transformation $\gamma \rightarrow \varepsilon$ induite par écrouissage.

Usine d'Imphy CREUSOT-LOIRE.

Ductilité à chaud et crique de solidification des austénites per-36 % nickel. Essai d'extension à des alliages super-réfractaires soudables.

Contrat n° 69 01 637, 1971, 30 × 21, 3 dpl. h.t., 27 pl. h.t., bibl. (2 réf.)

Criquabilité à la solidification (fragilité) due à S.N.O.C. Action bénéfique (ductilité à chaud et diminution à la sensibilité à la crique de solidification) de Mn, Ti, Zr. Cas des alliages Waspaloy et Inco 718.

Suite page 846

amélioration des procédés de moulage en moules permanents

R. Portalier
Centre Technique de l'Aluminium (Paris)

Communication présentée à la Journée d'études sur la fonderie, organisée par la Société des Ingénieurs Civils de France, le 11 octobre 1972.

INTRODUCTION

Si l'on considère l'histoire des techniques de la fonderie depuis ses origines, on s'aperçoit que le développement du moulage en moule métallique permanent est relativement récent. En effet, les premières « coquilles » pour coulée par gravité ne prirent une forme industrielle que dans la deuxième moitié du siècle dernier. Cette technique évolua alors rapidement sous des formes diverses avec l'apparition sur le marché des alliages d'aluminium et surtout avec le développement de nouvelles industries telles que celle de l'automobile.

Le but de cet exposé est de définir rapidement l'état actuel de cette technique avec un bref rappel de son évolution et d'essayer de déterminer les tendances d'avenir dans les divers procédés connus et pressentis. Il ne sera question dans ce qui suit que des procédés de mise en forme des alliages à l'exclusion de matériaux non métalliques.

DÉFINITION DU MOULE PERMANENT

On appelle « moule permanent », un outillage de forme permettant la reproduction d'un grand nombre d'exemplaires de pièces identiques par coulée et moulage. Le mot « permanent » dans son sens strict est impropre car un moule, quel qu'il soit, a une durée de vie limitée.

Celle-ci dépend entre autres :

— du type d'alliage coulé (résistance du moule à l'action physico-chimique des composants),

— de la température de coulée (chocs thermiques),

— de la pression et vitesse de remplissage (effet d'érosion et d'usure),

— de la rapidité du cycle de fabrication (variation rapide des effets de dilatation),

— de la forme et de la complexité de la pièce (éléments fragiles du moule),

— des matériaux constitutifs du moule (réfractairité, tenue à chaud).

En moyenne, on peut estimer que cette durée de vie est de 50 000 à 150 000 pièces par moule, suivant le procédé employé et les conditions d'emploi.

DÉFINITION DES OPÉRATIONS ÉLÉMENTAIRES D'UN CYCLE DE FABRICATION

Dans tous les systèmes et procédés utilisés, on retrouve toujours les opérations suivantes (fig. 1), en partant du stade moule ouvert, vide et en état de régime thermique :

— contrôle de propreté et mise d'un enduit de protection de surface (systématiquement ou périodiquement) ;

— mise en place d'éléments de moulage destructibles (noyaux), éventuellement ;

— fermeture du moule avec blocage des éléments mobiles ;

— remplissage du moule avec l'alliage liquide ;

— refroidissement et solidification de l'alliage ;

— ouverture du moule ;

— éjection de la pièce moulée.

La pièce sort ensuite du cycle de moulage proprement dit et les différentes opérations suivantes sont en général :

— le décochage (destruction des noyaux),

— le sciage et tronçonnage des appendices de coulées, masselottes, évents, etc.,

— la finition et le parachèvement,

— les traitements thermiques, éventuellement.

Il est intéressant d'établir le graphique schématique théorique des variations de températures moyennes du moule à chaque opération élémentaire et par cycle de fabrication (fig. 2). (θ_M — θ_m) représente l'amplitude thermique maximale d'un cycle. θ_m est la température minimale ; elle correspond, en période de fabrication normale, à ce que l'on appelle la température de régime. C'est en effet à θ_m que l'on doit préchauffer l'outillage en début de fabrication pour obtenir des pièces correctes.

Cette température, déterminée expérimentalement, doit être maintenue à la même valeur pour chaque cycle. En pratique, on y parvient à l'aide de divers dispositifs de réchauffage ou de refroidissement. La

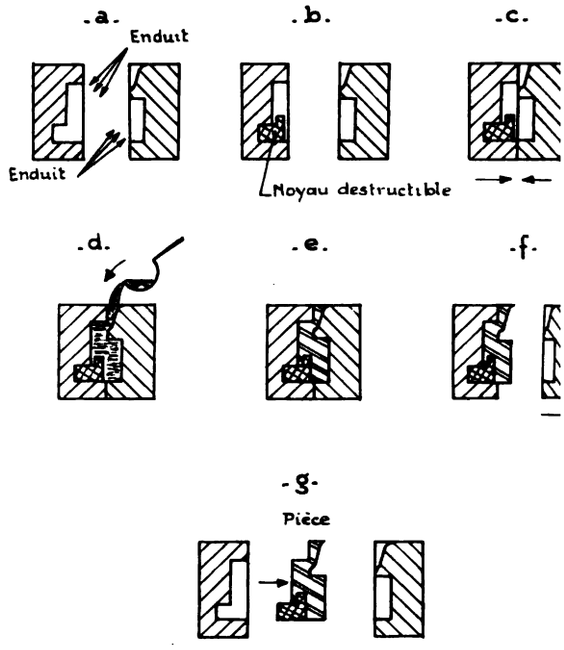


Figure 1.

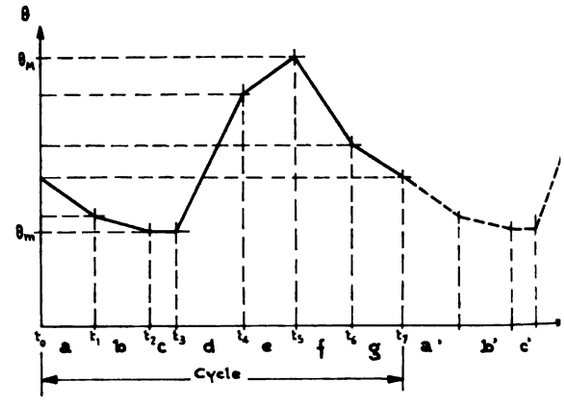
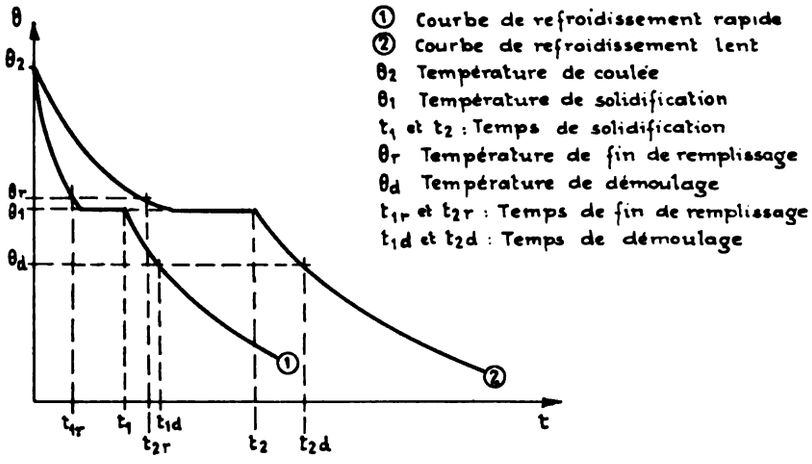


Figure 2.

durée du cycle se trouve de ce fait déterminée et est fonction, pour une θ_m donnée, de la forme et la matière constituant le moule (conductibilité t mique), de la nature et de la température de l'alli coulé (chaleur spécifique et latente), de la temp ture du milieu ambiant.

Pour améliorer la durée du cycle, c'est-à-dire cadences de production, il faut réduire les opérat élémentaires.



Exemple de refroidissement
iage binaire eutectique.

:i peuvent être classées en deux groupes :

ons mécaniques avec échange thermique
issement du moule), opérations F, G, A,

on d'attente avec échanges thermiques
ı avec faibles actions mécaniques, opéra-
, E.

:ions mécaniques peuvent être accélérées
ɔcédés technologiques divers. Elles devront
npagnées d'un système d'échange ther-
espondant afin d'atteindre à chaque reprise
ı température θ_m. Cela se fait en général
e en place de circulation d'air ou d'eau
ssement dans les divers éléments consti-
noule.

tions d'attente (remplissage et solidifica-
ıe durée fonction du volume de métal coulé
s d'échange calorifique entre métal liquide
nt et matériau du moule.

mécanique du remplissage est souvent
ée de la mécanique propre du moule.

ɔtenir un remplissage correct du moule,
une bonne venue de la pièce, les
doivent être faibles pendant le temps de
ɜ (pour éviter des solidifications partielles
s) et rapides ensuite après fin de remplis-
permettre une attente minimale d'ouverture
ɔulage. Technologiquement, il est très dif-
ɓaliser ce cycle thermique ; on contourne
en cherchant à réaliser la phase de rem-
ıns le temps le plus court tout en mainte-
tion le système de refroidissement (fig. 3).

ɜmouler, il faut que la pièce présente une
sistance ; cette opération se fait à la tem-
ɟ et à un moment t_{1d} pour la courbe (1)
la courbe (2). θ_d est fonction de la nature
essentiellement.

La fin de remplissage doit se faire un peu au-dessus de θ_1, soit θ_r, avec une certaine marge de sécurité puisqu'au cours du remplissage (même rapide), la température de l'alliage n'est pas uniforme en tous points. Le temps de remplissage est t_{1r} et t_{2r} dans chaque cas. Pour réduire au mieux ce temps, il faut :

— soit accélérer le remplissage,

— soit diminuer l'écart (θ_2 — θ_r).

Ce principe est mis en œuvre tout particulièrement dans le moulage sous pression.

LES DIVERS PROCÉDÉS DE MOULAGE EN MOULE PERMANENT

Nous avons classé ces procédés de moulage en fonction des moyens mis en œuvre pour accélérer la vitesse de remplissage. Le seul moyen industriellement retenu actuellement est la mise en pression de l'alliage liquide soit mécaniquement, soit pneumatiquement. Il faut tout de suite rappeler que l'emploi de pressions élevées pour obtenir des remplissages rapides s'accompagne de servitudes importantes telles que :

— usure des moules,

— emploi de machines complexes, donc coûteuses,

— écoulements turbulents des alliages pendant le remplissage, souvent avec des phénomènes d'entrainement d'air et d'oxydation,

— amortissements importants des installations.

Le choix d'un procédé de moulage est fonction en général :

— des quantités de pièces à fabriquer,

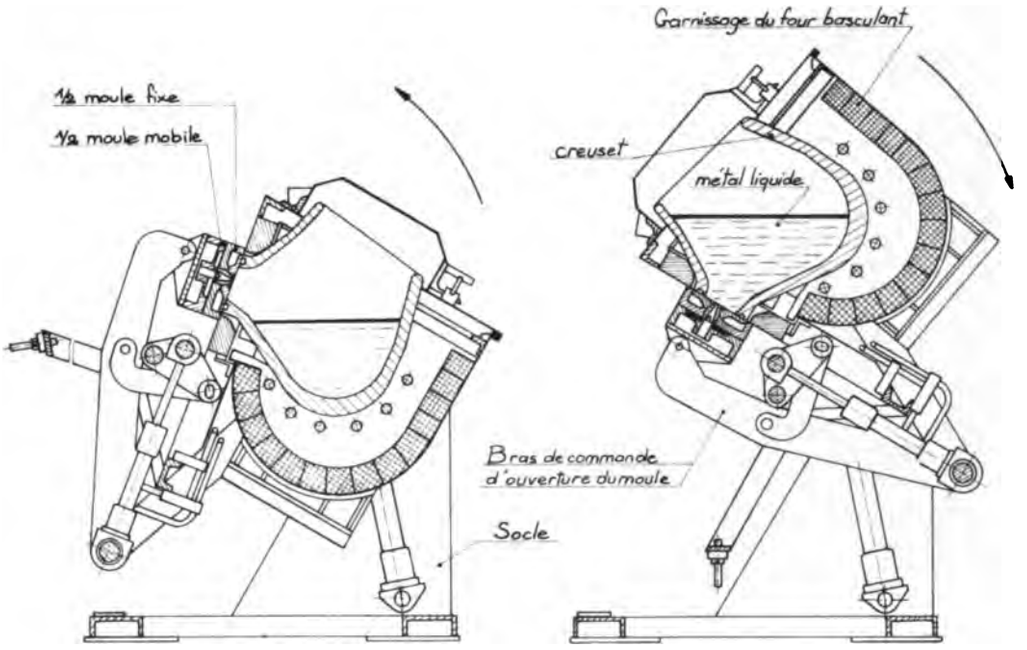


Figure 6. — Moulage par basculement de creuset. Machine Fries.

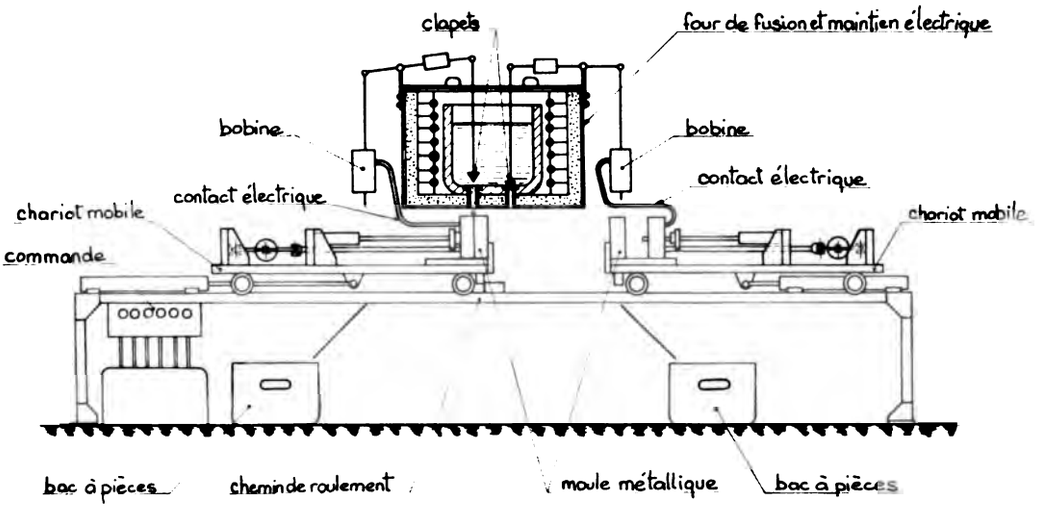


Figure 7. — Machine à translation de moules.

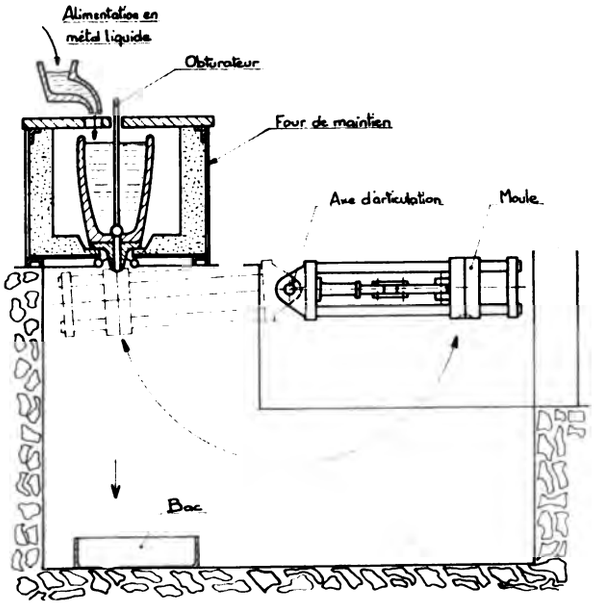


Figure 8. — Machine à basculement de moules.

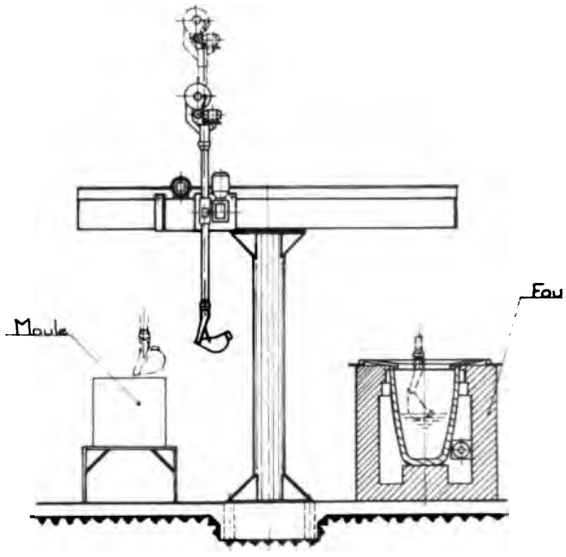


Figure 9. — Système d'alimentation séparé du moule

Procédés dits « basse pression » (fig. 10).

Ces procédés permettent une automatisation complète du cycle et le fait de faire subir une faible pression en fin de remplissage accélère très nettement les effets d'échanges thermiques entre alliage et moule (2,5 à 4 fois plus suivant étude de E.G. Savchenko (U.R.S.S.), fig. 11).

Il existe deux systèmes de machines :

— machine à alimentation verticale (fig. 12),

— machine à alimentation oblique (fig. 13).

La machine à alimentation oblique présente l'avantage de mieux dégager le moule, donc de permettre la production de pièces plus grandes et plus complexes (facilité d'accès aux divers mécanismes).

On considère que pour un moule donné et pour réaliser la même pièce dans la même qualité métallurgique, le procédé basse pression augmente en moyenne de 30 % la productivité dans la majorité des cas, par rapport au moulage en coquille par gravité.

Procédé dit « à contre-pression » (fig. 14).

Ce procédé est dérivé du procédé basse pression dont il a les avantages quant à la productivité en apportant, du fait de la contre-pression, une amélioration légère de la qualité métallurgique de la pièce,

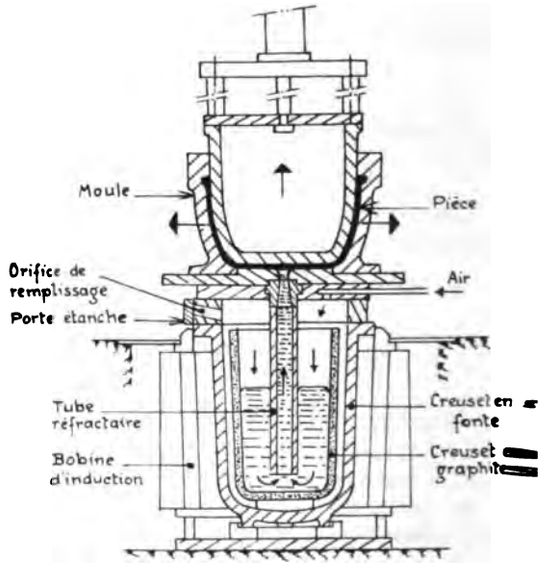
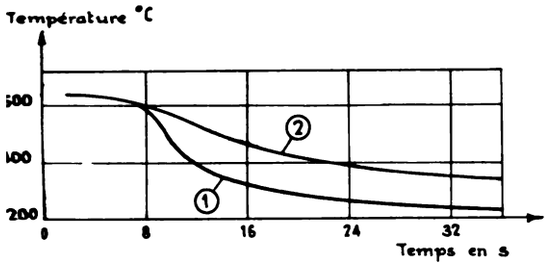


Figure 10. — Procédé de basse pression. Schéma de principe.

ou plus exactement il permet d'utiliser des alliages de qualité un peu inférieure pour obtenir un résultat comparable (il diminue très sensiblement les effets de dégazage des alliages d'aluminium).

La complexité du système de mise en pression d moule a pour l'instant freiné le développement de c procédé.



① Courbe de refroidissement en coulée basse-pression
② Courbe de refroidissement en coulée coquille par gravité

Figure 11.

Figure 12. — Machine à alimentation verticale.

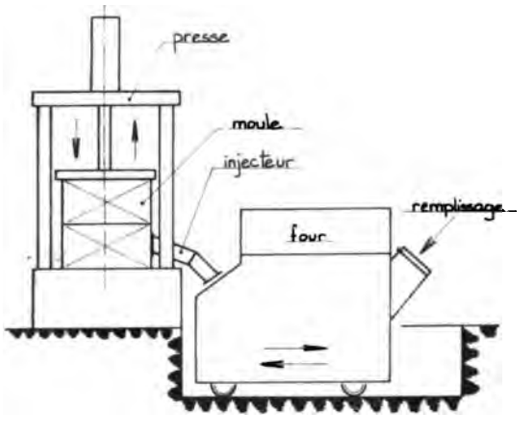


Figure 13. — Moulage basse pression. Machine à alimentation oblique.

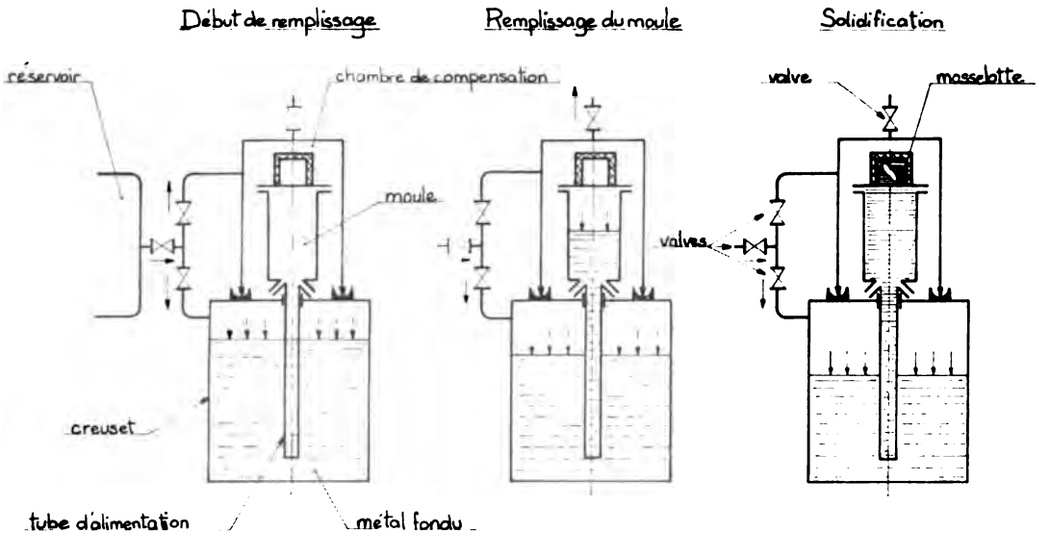


Figure 14. — Moulage en contre-pression.

Procédé Gravicast (fig. 15).

Ce procédé d'origine autrichienne est très simple de conception. Il ne permet cependant pas de faire des pièces très importantes ; il est en ce moment en expérimentation, mais devrait connaitre un certain développement dû à sa simplicité.

Il est appliqué actuellement en Autriche pour la réalisation de pièces de robinetterie en laiton.

Procédés utilisant le remplissage par l'effet d'une forte pression.

Ces procédés sont les plus rapides puisqu'ils permettent de réduire au maximum le temps de solidification et le temps de remplissage. Ils ne peuvent s'appliquer que pour des pièces de formes, dimensions et qualités métallurgiques déterminées.

Les machines employées sont de deux sortes (fig. 16) :

— les machines à chambre froide,

— les machines à chambre chaude.

Les progrès d'automatisation se sont faits sur trois plans principaux étant acquis la mécanisation complète des mouvements du moule :

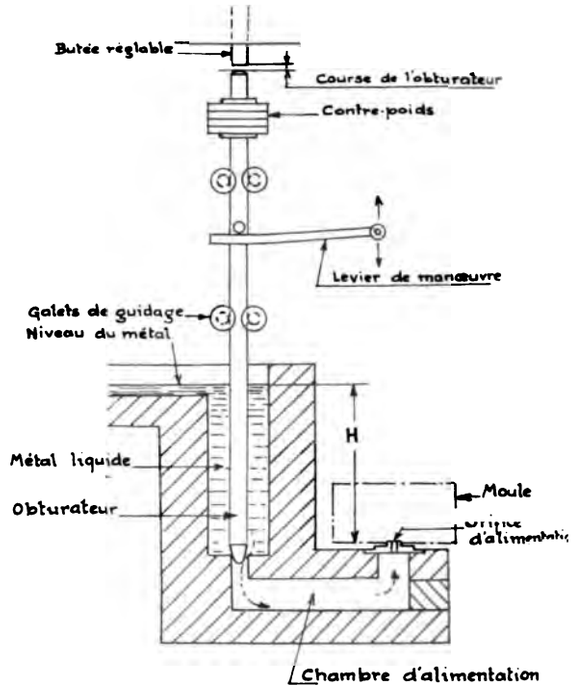


Figure 15. — Procédé Gravicast.

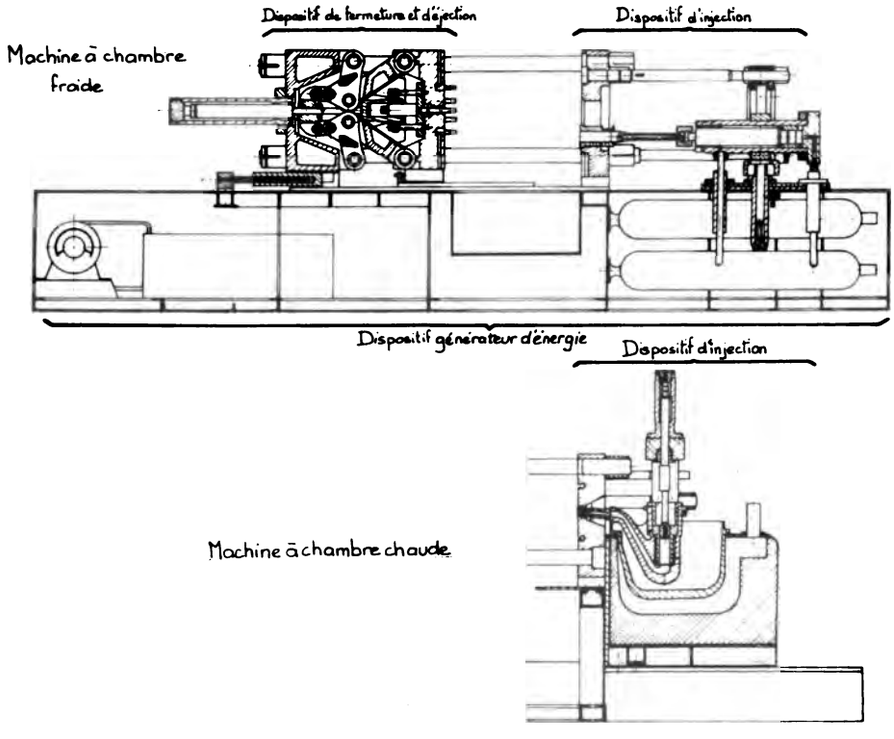


Figure 16.

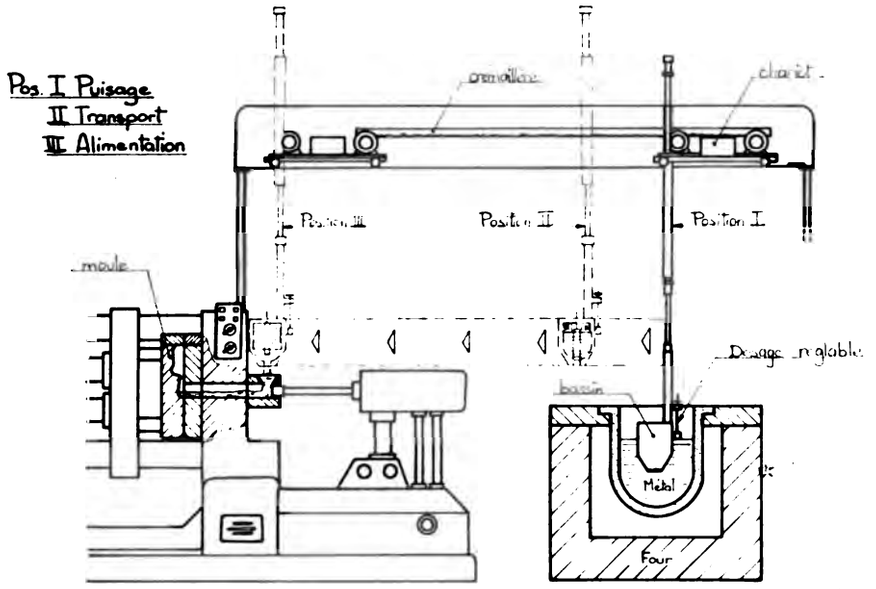


Figure 17. — Alimentation par système mécanique : Télémétal.

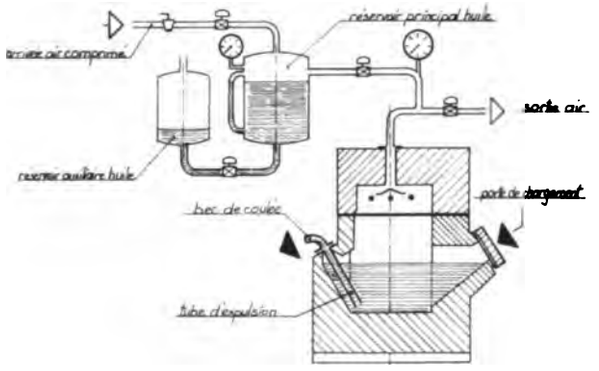


Figure 18. — Alimentation par système pneumatique en pression : Dosomatic.

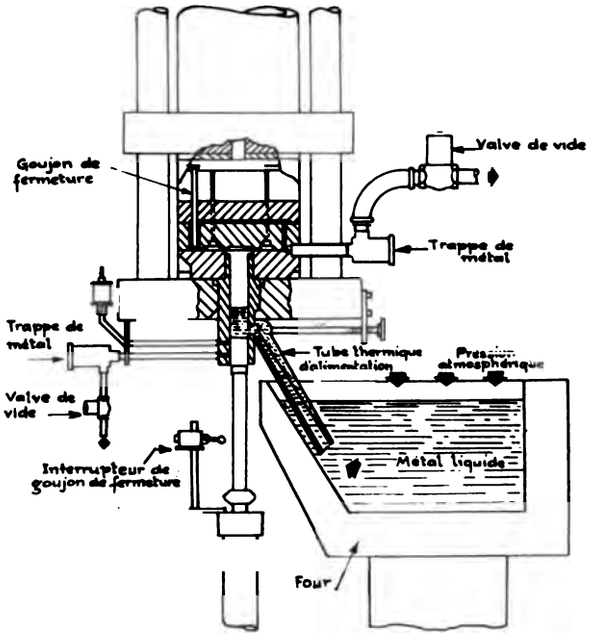


Figure 19. — Alimentation par système pneumatique à dépression Vertacast.

— alimentation de la machine en métal liquide,

— prise automatique de la pièce après éjection,

— contrôle du cycle global.

La première et la deuxième opération encadrent respectivement en amont et en aval toutes les opérations de moulage proprement dites.

Alimentation en métal liquide.

Elle est incluse automatiquement dans le cycle et fait appel à trois types de dispositifs :

— alimentation par système mécanique (fig. 17) ;

— alimentation par système pneumatique :

- en pression (fig. 18),
- en dépression (fig. 19) ;

— alimentation par système électro - magnétique (fig. 20).

Tous ces procédés présentent des qualités et des défauts ; en général, le choix est fonction du degré de précision du dosage et de son volume.

Il est à signaler que dans les procédés à chambre chaude utilisés surtout pour des alliages au zinc, le dosage est automatique du fait même de la conception de la machine (Gooseneck) (fig. 21).

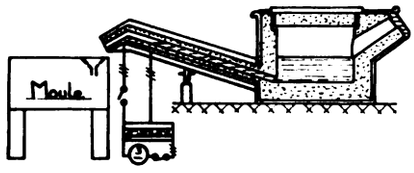


Figure 20. — Alimentation par système électromagnétique.

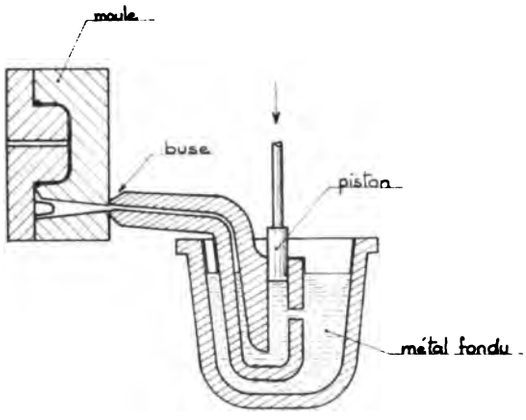


Figure 21. — Machine à chambre chaude Gooseneck.

Prise automatique après éjection.

Les mécanismes appelés « robots » remplacent de plus en plus les opérations manuelles de sortie des pièces après éjection du moule. Ces appareils reproduisent à peu près les gestes de l'ouvrier et, évidemment, sont spécifiques de chaque pièce. Il n'y a pas ou très peu de système omnibus, d'autant que l'intérêt de tels mécanismes n'est justifié que par l'importance et l'encombrement de la pièce coulée. En moulage sous pression, les pièces sont, dans leur grande majorité, relativement petites. En pratique, on utilise le robot à partir de 8 à 10 kg (poids de la pièce et de ses appendices de coulée (fig. 22).

Contrôle du cycle global.

En moulage sous pression, un facteur très important est la mesure ou la détermination des facteurs d'injection (vitesse, pression).

De nouveaux systèmes électroniques permettent d'enregistrer les courbes pression-temps lors des mises au point toujours empreintes d'un certain empirisme. Ces courbes, une fois établies, peuvent être lues à nouveau par des lecteurs optiques qui indiquent alors les valeurs à appliquer aux divers paramètres d'injection d'une machine donnée pour obtenir à nouveau fidèlement le même cycle (fig. 23).

On voit que l'on peut maintenant rendre automatique toutes les opérations de moulage sous pression. Les améliorations recherchées actuellement portent sur la qualité métallurgique des pièces.

On ne peut appliquer ce procédé à n'importe quelle fabrication ; en particulier, les structures obtenues par moulage sous pression ne permettent pas de faire subir aux pièces coulées, avec un succès suffisants, des opérations de traitement thermique ou de traitement de surface.

En effet, on observe une forme de structure particulière (fig. 24).

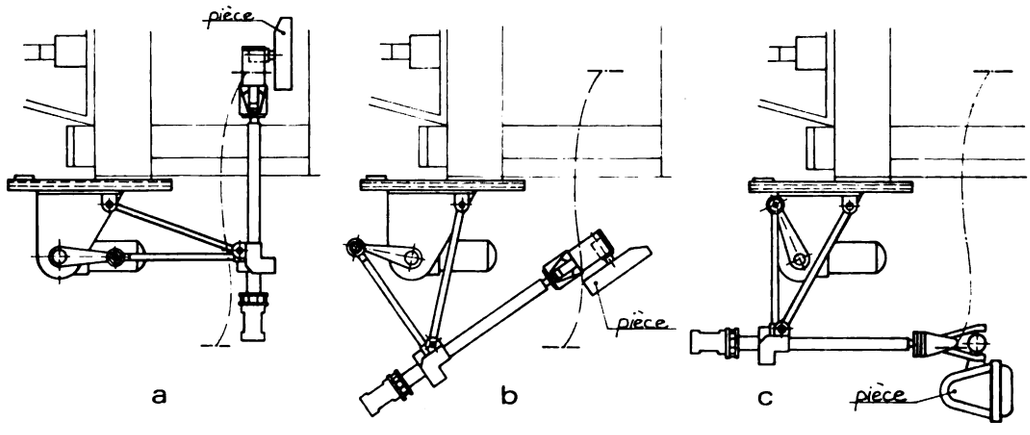
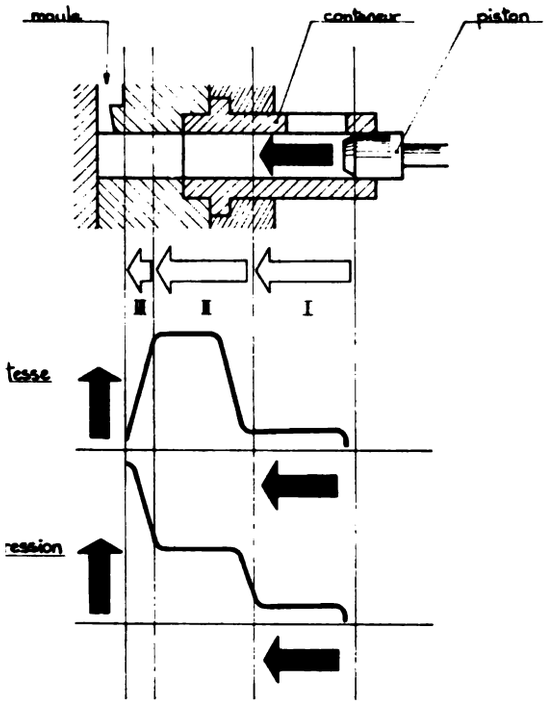


Figure 22. — Robot.



ıre 23. — Machine à coulée sous pression. Détermination des facteurs d'injection : vitesse et pression.

La veine se solidifie rapidement au contact du moule (échange thermique rapide) et reste liquide au centre plus longtemps en raison de la poussée importante. A la solidification finale, la partie centrale se rétreindra en provoquant des porosités internes ; d'autre part, sous l'effet de la pression, les gaz (air) entrainés par l'écoulement turbulent sont comprimés dans la zone corticale et reste sous forte pression après solidification. Toutes ces porosités, dès qu'il y a chauffe de la pièce (par exemple traitement thermique), tendent à reprendre un certain volume, d'une part par dilatation des gaz comprimés, d'autre part, par affaiblissement des caractéristiques mécaniques à chaud ; on observe alors le phénomène de « cloquage » (fig. 25).

Trois voies de recherches principales sont ouvertes sur l'amélioration de ce phénomène :

— coulée sous vide,

— mise en pression en double piston,

— coulée sous oxygène pour les alliages d'aluminium.

a) Coulée sous vide (fig. 26).

En pratique, il est difficile de faire un vide poussé, mais on note une amélioration sensible ; malheureusement, ces opérations ralentissent le cycle.

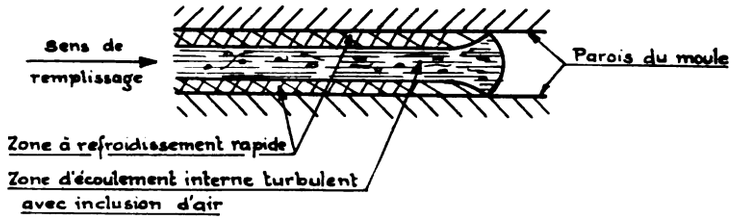


Figure 24.

b) Coulée par double piston (fig. 27).

Ce procédé augmente surtout la compacité, mais ne peut s'appliquer avec un succès tangible que pour des pièces simples et relativement massives.

Les pistons peuvent être concentriques ou séparés. La durée du cycle n'est pas très affectée, mais l'entretien du système d'injection est coûteux.

c) Coulée sous oxygène.

Ce système, qui a fait l'objet d'études récentes, semble plein de promesses. Il est surtout applicable pour les alliages d'aluminium. Il est fondé sur l'action

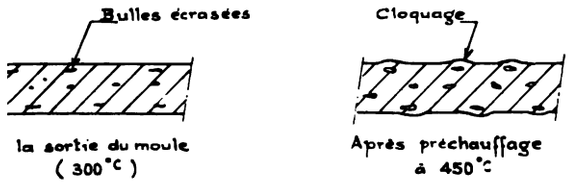


Figure 25.

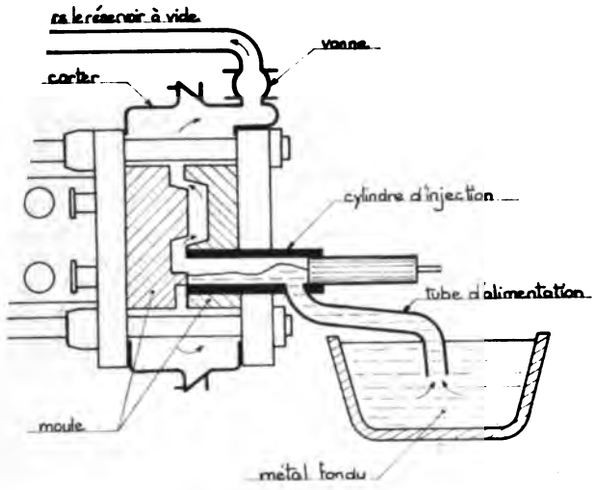


Figure 26. — Alimentation automatique d'une machine à chambre froide équipée pour le moulage sous dépression.

chimique rapide, voire instantanée, de l'oxygène sur l'aluminium. On remplit le moule d'oxygène en éliminant tout l'air contenu et lors du remplissage, il n'y a plus ou peu de bulles de gaz comprimé, mais des traces d'Al_2O_3 sous forme de légères inclusions non bullables. Le procédé ralentit un peu le cycle et demande certaines précautions d'emploi, mais il améliore nettement les structures.

Des essais récents montrent que sur un lot déterminé de pièces, on observe 60 % de rebut pour cloquage après traitement sur une coulée classique et moins de 10 % sur une campagne de coulée sous oxygène.

TENDANCES GÉNÉRALES D'OPTIMISATION DES AUTOMATISMES

On connait à peu près tous les principes d'obtention de pièces correctes dans des conditions d'automatisation complète et dans tous les procédés de moulage. Parmi les nouveaux facteurs de rentabilité, on retient particulièrement l'optimisation des cycles de moulage pour une machine ou une installation homogène donnée et le choix du procédé le plus adéquat dans un groupe de divers moyens de production d'une installation définie.

Optimisation des cycles de moulage.

On a vu qu'un cycle est établi expérimentalement avec l'appui de quelques données théoriques d'approche et une fois que ce cycle donne satisfaction, on cherche à le reproduire le plus fidèlement possible. En réalité, on n'est pas absolument certain que toutes les durées des opérations élémentaires sont les meilleures et correspondent exactement au phénomène physique correspondant. On peut pallier cette incertitude, du moins partiellement, en asservissant les mouvements des automatismes aux échanges thermiques dans le moule (revoir fig. 2) ; le moule se conduit lui-même suivant un cycle pouvant être alors irrégulier, mais dans les conditions de solidification toujours identiques de la pièce. Il s'ensuit donc une constance de qualité du produit réalisé chaque fois dans le cycle le mieux adapté.

L'application de ces systèmes présente un grand intérêt, surtout dans le moulage en basse pression où les échanges thermiques ont une importance primordiale pour obtenir une santé interne correcte de la pièce. Un pas important dans ce sens a été franchi en moulage sous pression où les circuits de refroidissement (donc d'échanges thermiques) peuvent être régulés en fonction des cadences de production.

Choix du procédé le plus adéquat.

Très généralement, le choix du type de moulage est déterminé au stade de la conception de la pièce, du moins il devrait en être ainsi. On retrouve, sauf exception, un des trois types de base de moulage :

— moulage en sable,

— moulage en coquille et ses dérivés,

— moulage sous pression.

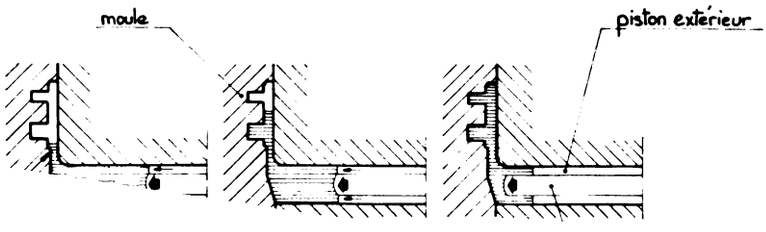


Figure 27. — Procédé de coulée par double piston Acurad.

Pour chaque type de fonderie, une usine possède une certaine quantité de moyens de production ayant leur caractère propre avec des possibilités d'adaptation diverses pour la fabrication retenue. Le problème est de placer cette fabrication suivant une planification déterminée et d'employer les meilleures possibilités des moyens de production au moment déterminé.

Dans le cas de moulage en moules métalliques permanents, et surtout en moulage sous pression, le choix des moyens de moulage est fonction des considérations suivantes :

— machines disponibles au moment souhaitable de fabrication (délai client),

— combinaisons possibles de diverses empreintes ou d'empreintes multiples sur un type de machine,

— qualités technologiques propres aux diverses machines.

Pour optimiser tous ces éléments au niveau des entreprises à production diversifiée où l'installation doit s'adapter à la fabrication (cas général des fonderies non intégrées), chaque pièce nouvelle fait l'objet d'une étude précise de tous les éléments technologiques nécessaires à l'obtention de la qualité recherchée et par programmation en ordinateur, le choix optimal, pour l'instant donné, du moyen de production de mieux adapté.

CONCLUSIONS

Les procédés de moulage en moules permanents connaissent dans l'industrie de la fonderie un développement considérable, puisqu'ils s'appliquent le mieux aux productions de série. Ils permettent une application souvent facile des mécanismes automatiques pour remplacer l'effort humain et s'adaptent bien à toutes les possibilités de l'informatique pour contrôler et optimiser toutes les opérations de fabrication.

Il n'y a pas actuellement, du moins dans un avenir proche, de perspectives de nouveaux procédés de moulage vraiment révolutionnaires. Les progrès à réaliser dans l'immédiat le seront grâce à l'application de plus en plus poussée de toutes les possibilités offertes par l'automation.

Suite de la page 832

Métallurgie.

GIRARD (F.), PICHOIR (R.). — Office National Etudes Recherches Aérospatiales.

Etude des possibilités de réalisation par implantation ionique, d'écrans de diffusion dans les alliages ultra-réfractaires.

Contrat n° 69 01 847, 1969, 2 fasc., 30 × 21, pag. multiple (47 p.), bibl.

Implantation ionique à l'aide d'un séparateur d'isotopes d'ions Th sur Nb pur polycristallin. Pas d'effet notable des ions implantés sur la diffusion de O, Ti, V, Pt et Nb Alz. L'implantation est contrôlée par spectrométrie de masse, microscopie électronique et analyse à la microsonde.

VIGNES (A.), SLAMA (G.), RAISSON (G.), BOUVIER (J.). — Ecole Nationale Supérieure des Mines de Nancy, 54 - Nancy .

Mécanismes de formation et de dégradation des revêtements d'aluminiures sur les alliages de niobium.

Contrat n° 67 00 551, mai 1970, 2 fasc., 30 × 21, pag. multiple (33 p.), 15 pl. h.t., bibl. (18 réf.).

Revêtement de $NbAl_3$ obtenu par trempage et cémentation. La structure dépend de la nature des additions faites au « cément » : Ti améliore la caractéristique de $NbAl_3$, Cr améliore la résistance à l'oxydation, Fe forme $NbAl_2Fe$ très adhérent au substrat. Performances des divers revêtements protecteurs.

BERNAS (H.), CAMPBELL (I.A.), — Laboratoire Physique des Solides, Université Paris-Sud, 91 - Orsay.

Etude des phénomènes de recuit dans les alliages instables par la corrélation angulaire perturbée.

Contrat n° 69 01 937, 1971, 30 × 21, 14 p., 7 pl. h.t., bibl. (7 réf.).

Implantation de ^{169}Yb dans Fe à l'aide d'un séparateur d'isotopes. Etude des paramètres pouvant influencer le champ hyperfin de l'ion implanté ; aimantation de feuilles minces ferromagnétiques ; effet de la dose et de l'énergie d'implantation ; effets de recuit. Etude au microscope électronique des défauts créés par implantation de Yb dans Au, Nb et Fe (boucles de lacunes, interstitiels).

BERNARD (C.), HAMAR (R.), HICTER (P.), PELIEGER (G.), DURAND (F.). — Ecole Nationale Supérieure d'Electrochimie, Electrométallurgie, 38 - Grenoble.

Etude de la morphologie de l'interface solide/liquide lors de la solidification eutectique.

Contrat n° 69 01 654, décembre 1970, in-4°, 12 p., 6 pl. h.t., bibl. (9 réf.).

Eutectique Bi-Cd, formation de cellules eutectiques par addition de Sn, influence de produit G.V. (G = gradient thermique, V = vitesse de croissance) sur leur taille. Zone couplée de l'eutectique $Al-Al_2Cu$. Possibilité de déterminer les propriétés de transport (autodiffusion, viscosité) des métaux liquides à partir de l'entropie et fusion et par l'intermédiaire de la fonction de partition.

WALDER (A.). — Lab. de Métallurgie des Poudres, O.N.E.R.A., 92 - Châtillon-sous-Bagneux.

Etude des propriétés mécaniques à haute température de matériaux composites, à matrice métallique, renforcés par trichites d'alumine.

Contrat n° 69 02 101, octobre 1969, in-4°, 28 p., bibl. (1 réf.).

Etude des propriétés mécaniques de 2 composites à base de Ni renforcée par des trichites d'Al_2O_3 élaborés, l'un par la métallurgie des poudres, l'autre par électrolyse. Ses résultats d'essais mécaniques sont inférieurs à ceux de Ni pur pour le composite préparé par électrolyse, ils sont meilleurs pour l'autre. Sa résistance mécanique à haute température théoriquement accessible se heurte à 2 limitations mises en évidence au microscope électronique à balayage : insuffisance de l'adhésivité à l'interface ou, en cas d'enrobage pour améliorer cette adhésivité, altération des surfaces des trichites.

le moulage de précision à modèles perdus. possibilités, limites et tendances actuelles

P. Cattier
Directeur général de Microfusion S.A.

Communication présentée à la Journée d'études sur la fonderie, organisée par la Société des Ingénieurs Civils de France, le 11 octobre 1972.

Il est rare de parler des techniques de fonderie à modèles perdus. Cela peut s'expliquer par le fait que le volume d'affaires développé par cette industrie, les effectifs qu'elle emploie, les capitaux qu'elle mobilise représentent une fraction infime de l'ensemble de l'économie, si l'on s'en tient aux grandeurs généralement retenues par les statistiques professionnelles. Et pourtant, si l'on considère l'objet de cette branche d'activité et ses principales réalisations, force est de se rendre compte de son importance qualitative.

Si, d'un coup de baguette magique, un génie malfaisant parvenait à faire disparaître tout à coup les usines et installations qui concourent à la fonderie à modèles perdus, on verrait rapidement les conséquences d'un tel geste :

— plus un avion militaire, plus un avion de ligne moderne ne pourrait plus prendre son vol, faute de turboréacteur ;

— des perturbations importantes surgiraient dans les branches industrielles les plus diverses et les plus importantes en raison de la place grandissante qu'y a prise la fonderie à modèles perdus. La construction mécanique ou électrique, l'équipement atomique, l'armurerie, l'industrie chimique ressentiraient une gêne certaine, surtout pour certains projets, sans que cela conduise à une situation aussi radicale que pour l'aéronautique ;

— dans un tout autre domaine, les chirurgiens seraient privés des éléments de prothèse les plus multiples et les plus variés qui interviennent chaque jour davantage dans la réparation de certains accidents graves du système osseux : fractures diverses, blocages d'articulations...

Il est, en effet, à remarquer que la fonderie à modèles perdus, créée en tant qu'industrie pour répondre à des préoccupations de santé humaine, et développée, vers 1940, à partir de là, pour la construction des turboréacteurs, conserve dans ces deux domaines une position privilégiée. Mais, avec l'expérience et l'usage, cette technique s'est appliquée avec succès toutes les fois que l'on a eu à élaborer des pièces de forme complexe en évitant ou en réduisant beaucoup la mise en forme ultérieure par enlèvement de matière avec un état de surface soigné, surtout s'il s'agit d'alliages réputés difficiles à travailler.

Enfin, cette technique, née, dans son principe, en même temps que la fonderie et le travail métallurgique dès l'antiquité a apporté à la fonderie un rajeunissement en même temps qu'elle élargissait le champ d'activité de cette vieille industrie fondamentale : à l'heure actuelle, elle apparaît comme un complément indispensable de la fonderie dont elle a repoussé les limites d'application et à laquelle elle ouvre des perspectives nouvelles (1).

CE QUI CARACTÉRISE LA FONDERIE A MODÈLES PERDUS

La précision dimensionnelle des pièces.

L'intérêt initial de la fonderie à modèles perdus a été d'apporter un niveau de précision inconnu jusqu'alors pour des pièces de fonderie. Cela provenait du fait que, par cette méthode de mise en forme, le modèle en cire ou en matériau destructible peut être éliminé après fabrication du moule sans qu'il soit nécessaire de procéder à des juxtapositions d'éléments de moules, de noyaux, et en éliminant la sujétion des dépouilles et contre-dépouilles, comme dans la fonderie classique, en un mot, en présentant à la coulée des moules monoblocs sans joints de moulage quelle que soit la forme de la pièce. Or, dans une pièce de fonderie, ce sont d'abord les joints de moulage qui sont à l'origine des incertitudes dimensionnelles et l'expérience a montré que le niveau de tolérance atteint par le moulage à modèles perdus était effectivement bien supérieur à celui que l'on pouvait espérer des méthodes classiques de fonderie. Comme le montre la *figure 1*, le niveau de tolérance garanti recouvre les indices de précision ISO 13 à 15 suivant la dimension linéaire envisagée. Il s'agit réellement de fonderie de précision, comme on peut s'en rendre compte par comparaison avec ce qui est obtenu par d'autres moyens de fonderie.

C'est ce résultat, conséquence du principe ci-dessus défini qui caractérise d'abord la méthode de fonderie dite « à modèles perdus », quels que soient d'autre part les matériaux utilisés pour le moule (sables divers, plâtres ou autres matériaux) ou pour le modèle (cires, matériaux plastiques ou fusibles ou solubles) ou les alliages mis en œuvre, ou les pièces concernées ou le procédé de fabrication du moule (moule « bloc » ou moule « carapace »).

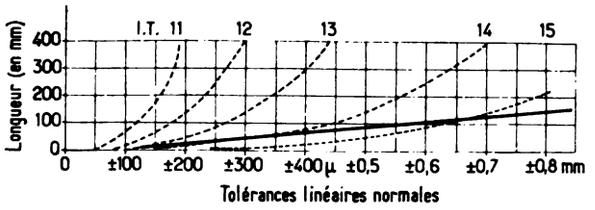


Figure 1. — Niveau de précision obtenu en fonction de la dimension linéaire considérée par rapport aux niveaux de tolérances ISO (les tolérances normales sont celles qui peuvent être obtenues de façon répétée pour toutes les dimensions de la pièce).

N.B. — Des tolérances plus serrées peuvent être obtenues sur certaines cotes choisies moyennant certaines opérations supplémentaires.

D'après (2).

Est-il besoin de dire, même si nous ne pouvons insister là-dessus, que la recherche de cette précision exige des outillages d'injection de modèles appropriés, une surveillance étroite de la régularité des matériaux mis en œuvre pour le modèle, le moule et la pièce, la climatisation des ateliers de fabrication des modèles et des moules ou des ateliers de contrôle et enfin le contrôle permanent des dimensions des modèles et des pièces.

Toutefois, ce terme de précision doit s'entendre par rapport à ce que l'on obtient par d'autres méthodes de fonderie et non par rapport au sens où ce terme est employé généralement dans les bureaux d'études de construction mécanique. Cette « précision », qui pratiquement est de l'ordre du dixième de millimètre pour les dimensions habituellement envisagées, n'a rien de comparable avec la précision du micron qui correspond à la « précision » recherchée parfois en construction mécanique. Le même terme, employé dans les spécialités différentes, recouvre des réalités différentes. Il importe de le souligner pour éviter des préjugés ou des malentendus lorsqu'il y a rencontres entre ces diverses spécialités. Par exemple, la précision de la fonderie à modèles perdus a permis de résoudre le problème de la fabrication des aubes de turboréacteurs ou de turbomachines, au profil particulièrement précis et délicat, aux alliages pratiquement inusinables et inforgeables ; mais, par contre, pour la partie « compresseur » de ces machines, on en reste, la plupart du temps, aux méthodes d'usinage donnant une précision dimensionnelle supérieure ; de même, par fonderie à modèles perdus, on ne fabrique ni pas de vis, ni engrenages.

Enfin, il faut remarquer que vu l'origine de cette précision plus grande, cet avantage perd de son importance relative lorsque les dimensions des pièces augmentent ; c'est pourquoi le domaine privilégié de la fonderie à modèles perdus est celui de la pièce relativement petite et moyenne (de l'ordre de quelques centimètres à quelques décimètres) et si maintenant des pièces de plus grandes dimensions ont tendance à être réalisées ainsi, c'est dans la mesure où d'autres éléments d'appréciation interviennent : état de surface ou complexité des formes notamment.

Le fini de surface.

La précision dimensionnelle perdrait de son intérêt si elle ne s'accompagnait d'un fini de surface soigné. Le fondeur à modèles perdus est conduit à maitriser la rugosité de la surface de ses pièces. Il faut entendre par « rugosité » l'ensemble des irrégularités de la surface de caractère microgéométrique ; elle peut être mesurée par l'écart arithmétique moyen (exprimé en microns) du profil effectif par rapport à la ligne idéale qui peut servir de référence (3).

Les résultats obtenus à l'occasion d'une étude récente sont résumés par le *tableau I*.

TABLEAU I : Rugosités de surface observées.

Surface examinée		Rugosité R_a (μ)	
Modèles	En cire	0,5 à 1	
	En polystyrène	0,3	
Moules	Revêtement	2,5 à 3,5	
	Noyau céramique	1,1	
Pièces	Brut de coulée	2 à 3	
	Après toilage	1,5 à 2,5	
	Après traitement thermique		3 à 7
	Après sablage	1,2 à 2	2,5 à 3
	Après attaque macrographique sur pièce sablée (éventuellement)	2 à 2,5	
	Après superfinition spéciale sur pièce sablée		0,6 à 0,8

On se rend compte que la rugosité de la surface des pièces est conditionnée par le fini de surface de la paroi du moule et non par celui du modèle. De plus, les diverses opérations de finition habituelles (toilage, meulage, sablage) n'améliorent que légèrement l'état de surface observé sur pièce brute de coulée. Par contre, un traitement thermique, même sous atmosphère protectrice ou sous vide, a tendance à dégrader l'état de surface ; une attaque macrographique altère également l'état de surface obtenu à la coulée. Néanmoins, l'état de surface finalement obtenu est en général une bonne base de départ pour le résultat de la superfinition parfois recherché spécialement.

Pour apprécier ces résultats, il ne faut pas perdre de vue que les rugosités ainsi observées sur pièces brutes de coulée obtenues par fonderie à modèles perdus sont de dix à vingt fois plus faibles que celles que l'on peut relever sur pièces de fonderie classique.

La complexité de forme (à trois dimensions) des pièces.

De ce point de vue, la fonderie à modèles perdus l'emporte sur tous les autres procédés de fonderie classique (et *a fortiori* sur le forgeage par conséquent). La facilité relative avec laquelle on peut théoriquement obtenir le modèle en cire avec un outillage approprié, la possibilité de composer éventuellement, à partir d'éléments dans les cas les plus complexes, les divers systèmes de noyautage utilisables pour obtenir des pièces creuses, le préchauffage du moule constitué de matériaux réfractaires... tout cela contribue, à chaque stade de la fabrication, à la réalisation

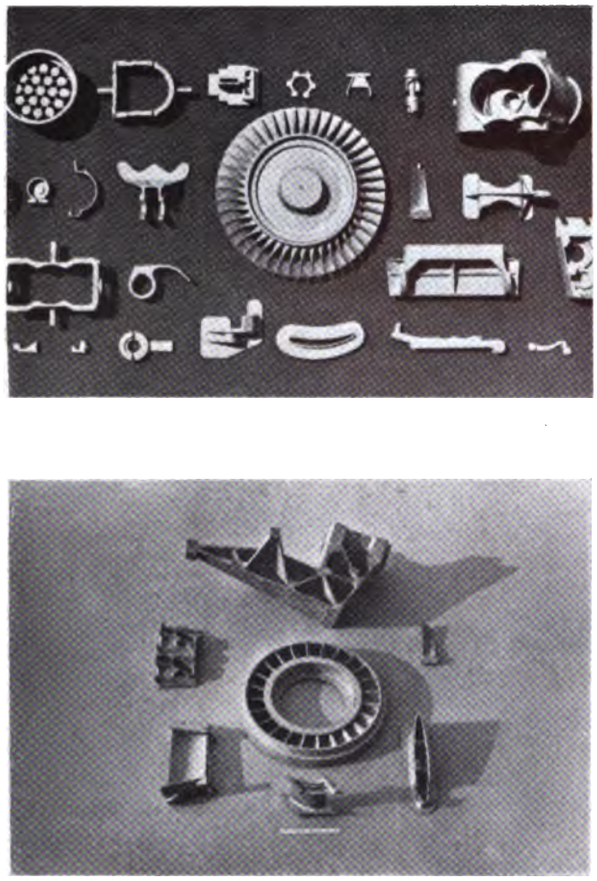


Figure 2. — Echantillonnages de pièces élaborées en fonderie à modèles perdus montrant la diversité et la complexité obtenues.

de pièces complexes. La venue possible de certains détails est à souligner particulièrement : par exemple, des toiles épaisses d'un millimètre sur une longueur de 100 mm peuvent être obtenues, ou des trous profonds de deux à trois fois leur diamètre (au-dessus d'un diamètre de 2 mm) ou des fentes, des bossages, des bords de fuites (fig. 2).

Bien sûr, il existe un certain nombre de contre-indications qui limitent parfois l'application du procédé, parce que certaines contradictions techniques ne permettent pas de trouver en condition industrielle les compromis qui conduiraient au succès : par exemple, certaines différences d'épaisseurs trop brutales, une accumulation de matière conduisant à des points chauds peuvent interdire la venue d'une bonne santé interne. Ces limites sont des cas d'espèce, mais sont connues d'un fondeur expérimenté et pour éviter des déboires, il est recommandé d'établir une étroite collaboration, dès que la pièce est conçue, entre l'utilisateur (pratiquement son bureau d'études) et le fondeur de précision, afin d'obtenir plus sûrement, et par conséquent plus rapidement, la pièce recherchée.

LES VOIES ACTUELLES DE LA DIVERSIFICATION DES FONDERIES A MODÈLES PERDUS

Tout en conservant les traits caractéristiques communs qui viennent d'être dégagés, l'industrie de la fonderie à modèles perdus tend à se diversifier en un certain nombre de spécialités. Cela conduit parfois les fonderies à opter pour telle ou telle spécialité : c'est le cas, par exemple, aux Etats-Unis et dans une moindre mesure en Grande-Bretagne. Si une même Société est tenue par ses engagements de couvrir plusieurs spécialités, elle est conduite à le faire dans des usines nettement distinctes, tant les préoccupations, les méthodes de travail, les impératifs et certains moyens mis en œuvre diffèrent : c'est le cas, par exemple, en France, de Microfusion.

Essayons de dégager les directions principales vers lesquelles s'effectue, actuellement, cette diversification.

Les fonderies pour techniques avancées.

La fonderie à modèles perdus a justement pris naissance et s'est développée pour résoudre des problèmes que les procédés habituels de mise en forme ne permettaient pas de faire aboutir pour la réalisation des turboréacteurs de l'aéronautique, ou des turbines à combustion notamment.

Dans ce domaine, la fonderie à modèles perdus a étendu d'abord le champ d'application de la fonderie. Ensuite, pour répondre aux besoins de plus en plus exigeants des constructeurs concernés par ces techniques avancées, la fonderie à modèles perdus s'est adaptée et évolue dans un sens qui lui est propre. C'est ainsi qu'elle a été à l'origine du développement de la fusion et de la coulée sous vide des alliages réfractaires à base de nickel ou de cobalt et qu'elle a même conduit au développement d'une métallurgie spécialement prévue pour le moulage de précision de ces alliages. Par exemple, certains alliages nouveaux se sont imposés, qui ne sont mis en œuvre que par fonderie de précision et ce d'autant mieux, d'ailleurs, qu'à partir d'une température d'emploi voisine de 800°C — actuellement bien dépassée dans certaines turbomachines — les alliages moulés ont une résistance au fluage supérieure à celle des alliages forgés.

Toutefois, des températures d'emploi voisines de 1 000°C approchent dangereusement les températures de commencement de fusion de ces alliages. D'autre part, l'amélioration des performances des turbomachines est liée à l'élévation de température du fluide moteur. Sauf dispositions particulières, le moment serait donc proche d'atteindre un plafond pour le ren-

dement des machines, mais l'industrie de la fonderie à modèles perdus peut aider à trouver des solutions à ce problème :

— d'une part, elle a permis de développer la technique des éléments de turbomachines refroidis intérieurement grâce à l'emploi de noyaux céramiques ou de tiges de quartz incorporés dans les moules. En complément, la mise en œuvre de techniques spéciales de protection par voie thermochimique permet d'éviter la corrosion superficielle des alliages réfractaires (4) ;

— d'autre part, ultérieurement, on verra probablement se développer les procédés où la précipitation *in situ* de constituants réfractaires orientés dans la matière de l'alliage permettra la formation par moulage de véritables matériaux composites (5). Toutefois, d'importants problèmes d'équipement seront à résoudre avant d'exploiter industriellement ces découvertes.

La mise en œuvre de tels alliages, qui contiennent d'appréciables quantités d'éléments très oxydables, a nécessité l'introduction, il y a une quinzaine d'années, de la pratique de la fusion sous vide. Un équipement spécialement adapté permet de pratiquer la fusion sous un vide de 10^{-3} torr, puis de couler, toujours sous vide, dans un moule préchauffé vers 1 000°C, cela grâce à deux enceintes de vide mises en communication au moment de la coulée.

Dans ce domaine, les exigences dimensionnelles, le fini de surface, la qualité requise nécessite une technique de moulage sûre, précise, constante, au besoin au détriment de la rapidité d'exécution et de l'économie des coûts. Il s'ensuit, de plus, que les opérations de contrôle prennent un développement considérable pour ces fabrications et cela de façon très variée. Chaque pièce subit, outre le contrôle de la composition chimique, le contrôle des dimensions (et des profils), le contrôle macrographique de la texture, le contrôle de la compacité par ressuage ou par radiographie.

Cette spécialité de la fonderie à modèles perdus est d'ailleurs particulièrement vulnérable en raison des risques encourus par le fondeur :

— la multiplication des contrôles, l'affinement de leurs méthodes en liaison avec l'accroissement régulier des exigences des constructeurs augmentent sans cesse les risques de rebuts ;

— l'extension continue des limites de dimensions, de poids ou de qualité exigés conduit à une extrapolation continue des techniques, donc à des risques également ;

— la destination des pièces à un secteur étroit de l'économie rend ce type de fonderie très sensible aux variations de conjoncture des branches industrielles concernées : aéronautique, espace, énergie atomique.

Les fonderies de pièces de construction mécanique.

Dans cette spécialité, il faut tenir compte de la concurrence technique possible d'autres procédés, comme l'usinage automatique dans la masse ou sur ébauche forgée ou l'assemblage par mécanosoudure. Ici, la fonderie à modèles perdus doit prouver sa compétitivité dans chaque cas, mais elle marquera des points lorsqu'il s'agira de séries moyennes, surtout si elle permet, grâce à sa précision, d'éviter la création ou l'extension d'un parc de machines-outils. Cet avantage a été spécialement mis à profit par des entreprises moyennes ou dans des pays à développement industriel rapide et récent (Italie, Japon).

Dans ce cas, la fabrication doit s'adapter dès le stade de l'injection des modèles grâce à des outillages appropriés, peu coûteux et à empreintes multiples. De plus, la fabrication du moule sera simplifiée

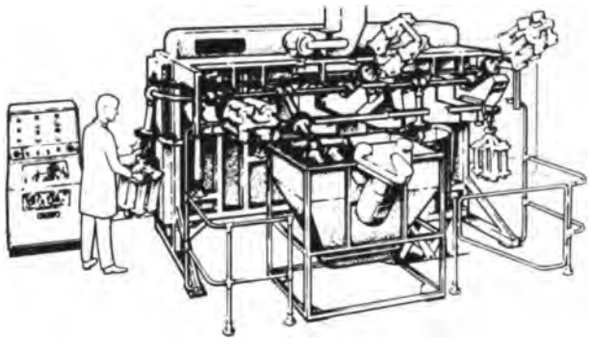


Figure 3. — Schéma d'une machine à fabriquer les moules-carapaces en continu.

Figure 4. — Poste de chargement de la machine à fabriquer les moules et tableau de commande.

(cas de l'ancien procédé du moule-bloc) ou amélioré (tendance moderne permettant la mécanisation de la fabrication du moule-carapace) (fig. 3 et 4). La coulée des moules se fait en série, à la poche, plutôt que moule par moule par retournement du four et l'on simplifie autant que possible les opérations de parachèvement et de contrôle. Tout cela de façon à réduire les coûts de fabrication.

Les fonderies d'alliages légers.

Ici, deux procédés de mise en œuvre peuvent être observés :

a) Coulée de l'alliage dans des moules-bloc en plâtre préchauffés, surtout utilisés pour la fabrication de pièces pour la construction électronique.

b) Utilisation de moules-carapaces, adaptés aux alliages légers, avec contrôle plus poussé des conditions de refroidissement des alliages, de façon à améliorer leurs caractéristiques mécaniques. A ce sujet, des résultats particulièrement intéressants ont été obtenus, en conjuguant les techniques connues de dégazage des bains et d'affinage de structures, et le refroidissement accéléré du moule.

Néanmoins, tant pour la fabrication et le préchauffage du moule que pour la fusion et la coulée, le parachèvement ou le contrôle, il est nécessaire d'employer un équipement spécial. Ainsi, le contrôle de la compacité par radiographie de pièces aéronautiques sollicitées se fait par des appareils spécialement étudiés travaillant sous moins de 100 kV et munis de fenêtre à béryllium de façon à accroître la sensibilité de détection des défauts internes.

Fonderies pour alliages de titane et autres métaux réactifs.

Tout récemment, le développement des alliages de titane, forgés, usinés ou soudés, a attiré l'attention sur leur mise en œuvre par fonderie. Ici, deux difficultés particulières ont dû être surmontées : la première, liée à la fusion d'un métal qui réagit avec tous les matériaux réfractaires usuels ; la seconde, liée au moule lui-même, qui ne pourra être constitué d'aucun réfractaire usuel également. Des solutions ont été trouvées, qui permettent notamment d'appliquer les méthodes de fonderie à modèles perdus au titane, à ces alliages et autres métaux réactifs du même genre (6), à condition :

— que la fusion soit réalisée selon la méthode du « skull melting » soit à l'arc, soit par bombardement électronique, de façon à éviter le contact du métal liquide avec un autre corps que lui-même à l'état solide,

— que l'on utilise un moule à base de graphite ou protégé du contact du métal réactif.

Figure 5. — Pièce en alliage de titane élaborée par méthode de fonderie à modèles perdus.

Pour cette double raison, ce genre de fonde se différencie des autres fonderies à modèles per et conduit ainsi à une nouvelle direction de spéci sation qui ne fait que débuter. Mais, comme le p du matériau de base est élevé, il faut absolument poser d'un procédé de précision pour la mise forme, en évitant la perte de matière par enlèvem de copeaux (fig. 5).

bibliographie

1 MASCRÉ (C.). — Fondre et fondre encore. *Scie Progrès, Découverte*, n° 3440 (janvier 1972).

2 Investment casting handbook. Edité par Investr Casting Institute, 2535 Peterson Road Chicago (1968).

3 Projets de normes AFNOR PNE 05 001 et PNE 0 (1964).

4 GALMICHE (P.). — Protection des métaux et des su alliages réfractaires par voie thermochimique. Co nication présentée au 3e Congrès mondial de fonde modèles perdus, Paris (avril 1972).

5 BIBRING (H.). — Superalliages à grains orienté composites pour pièces de fonderie de préc Communication présentée au 3e Congrès mondi fonderie à modèles perdus, Paris (avril 1972).

6 MAGNIER (P.). — La fonderie du titane et de alliages par le procédé à modèles perdus. Commu tion présentée au 3e Congrès mondial de fonde modèles perdus, Paris (avril 1972). *Rev. Méta* 69, n° 12 (décembre 1972), 853-857.

le moulage du titane et de ses alliages par le procédé à modèles perdus

P. Magnier
Directeur technique à Microfusion S.A.

Communication présentée au 3e Congrès Mondial de Fonderie à modèles perdus à Paris (avril 1972).

On expose tout d'abord les raisons qui ont motivé l'étude du moulage du titane et de ses alliages par le procédé à modèles perdus. Ensuite, on expose les deux problèmes principaux à résoudre : la fusion sous vide du métal et la réaction du métal avec le moule.

Les différentes possibilités de moulage sont évoquées ainsi que le comportement des matériaux vis-à-vis du titane liquide.

On expose ensuite les raisons qui nous ont amenés à réaliser un moule en graphite. L'examen des difficultés rencontrées au cours de la réalisation des moules en graphite nous conduiront à présenter la solution de moulage que nous avons mise au point.

Enfin, on donne les caractéristiques des pièces en titane ou alliage de titane coulées dans les moules précédemment décrits.

INTRODUCTION

Il est très séduisant de penser pouvoir couler des pièces en titane par le procédé de fonderie à modèles perdus. En effet, ce procédé permettrait de produire des pièces de structure aéronautiques à des prix de revient inférieurs au prix de ces pièces usinées. Plus généralement, on peut penser que ce procédé permettrait d'obtenir plus facilement toutes les pièces en titane ou alliage de titane qui ne peuvent pas être forgées étant donné leur forme complexe.

Ainsi, un certain nombre de fonderies de précision ont-elles essayé de mettre au point un procédé et ont rencontré des problèmes très difficiles à surmonter.

PROBLÈMES POSÉS PAR LE MOULAGE DU TITANE

Les deux problèmes majeurs que l'on rencontre dans le moulage du titane sont :

— les problèmes de réactions entre le métal liquide et les matériaux des moules,

— les problèmes liés à la fusion du titane préalablement à la coulée.

Les problèmes de moulage sont très difficiles à résoudre. En effet, le titane réduit rapidement la plupart des oxydes, silicates et autres composés contenant de l'oxygène, rentrant habituellement dans la fabrication des moules. De plus, il dissout la plupart

des métaux et le carbone. Les dommages causés aux pièces coulées par ces réactions chimiques sont doubles : pollution et fragilisation du titane par les éléments qu'il dissout et création de cavités gazeuses par dégagement d'oxygène.

Ceci explique pourquoi les fondeurs ont essayé surtout des moules ne présentant, au titane liquide, que des métaux réfractaires tel que le tungstène ou des métalloïdes réfractaires tels que le carbone. L'utilisation de tels moules ne conduit en effet qu'à un changement superficiel de composition des pièces coulées mais ne provoque pas de formations gazeuses dans les pièces par réduction d'oxydes ou de silicates.

Quant aux problèmes liés à la fusion du titane, ils proviennent du fait que le titane et ses alliages doivent être portés à 1 800-1 900°C sous un vide poussé avant de pouvoir être coulés dans des moules. En effet, le titane liquide est capable de dissoudre une grande quantité de gaz (azote, oxygène, hydrogène) qui présentent deux dangers : ces gaz, en excès sur la solubilité solide, créent des soufflures à la solidification et ceux qui restent dissous dans le métal solide fragilisent les pièces. Par ailleurs, le titane liquide ne pouvant supporter le contact avec un creuset de quelque matériau qu'il soit, la seule méthode de fusion possible est la méthode dite en auto-creuset (skull melting).

PRÈSENTATION DE NOS ÉTUDES

Les moules.

Nous avons essayé de couler dans des moules céramiques : les réactions chimiques à la coulée sont très importantes, même avec des oxydes aussi stables que l'alumine ou la zircone et les pièces obtenues sont en général soufflées et leur surface est polluée.

Parmi les solutions qui pouvaient être envisagées, on peut citer celles qui consistent à ne présenter au titane que du graphite ou carbone ou des métaux réfractaires (W), ou enfin des composés réfractaires non oxygénés du type carbures, nitrures ou borures. Nous avons développé une solution graphite qui pouvait conduire à des solutions industrielles économiques.

Nous avons choisi, de plus, de réaliser un moule en graphite par la technique classique de la fonderie à modèles perdus, qui consiste à construire progressivement un moule autour d'un modèle en cire ou en plastique par trempage de ce modèle dans une barbotine, saupoudrage, etc. Cette technique éprouvée permet en effet de réaliser des pièces de toutes les formes possibles. Elle permet également de réaliser des moules de poids faible, donc d'autant plus faciles à dégazer sous vide.

Nous ne pouvons décrire en détails le moule nous avons mis au point. Cependant, on peut do les idées fondamentales qui ont conduit à la ception du moule.

— Nous avons déjà répertorié deux causes poss de soufflures dans les pièces : les gaz en e de la saturation solide dans le métal liquide e gaz issus des réactions métal-moule. Une troisi source très importante provient de la bru désorption des gaz absorbés dans la masse reuse du moule lorsqu'à la coulée le moule porté à 1 500-1 700°C par le titane liquide. I cette raison, nous avons fait des moules les minces et les plus denses possibles.

  Cette idée directrice nous a conduits à adc des moules composés de graphite sur quel mm d'épaisseur au contact du titane, et de ques mm d'épaisseur de céramique classiq l'extérieur pour obtenir des moules suffisam solides, ce qui ne serait possible avec un m entièrement en graphite qu'avec des épaiss plus grandes.

— Nous avons apporté tout notre soin à la réa tion de la partie graphite de nos moules : les n riaux employés sont des poudres de graphi faible surface spécifique et des colloïdes ment organiques pour les barbotines, ces colk jouant le rôle de la silice colloïdale dans les mc céramiques classiques.

— Les moules terminés, séchés et décirés su les méthodes conventionnelles sont cuits hydrogène à 1 000°C.

Les moyens de fusion.

Nous avons utilisé un four de fusion et de cc par bombardement électronique de 150 kW, in à l'usine de Gennevilliers de Microfusion. Cette thode de fusion permet en effet de travailler vide poussé avec une concentration parfaite du ceau d'énergie sur le bain en fusion.

On peut ainsi dégazer facilement la surfac bain fondu sous 10^{-4} à 10^{-5} torr.

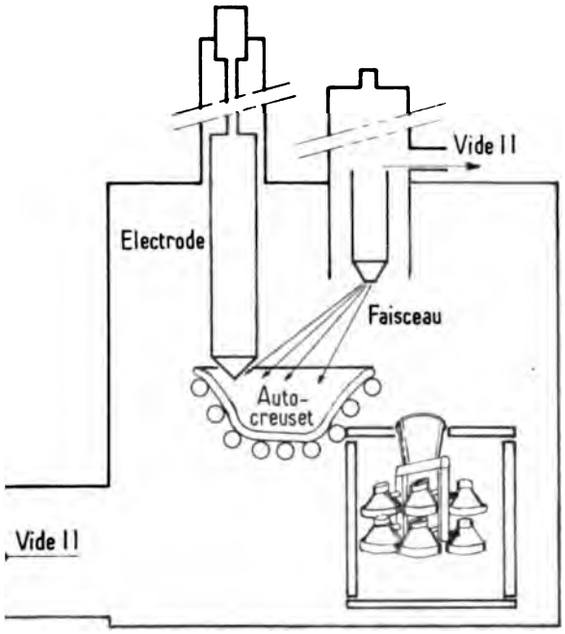
L'installation, schématisée sur la *figure* 1 compose :

— d'un creuset en cuivre refroidi à l'eau po pivoter autour de l'axe,

— d'un canon à électrons de puissance max 150 kW,

— d'une enceinte à vide permettant de travaill 10^{-4} à 10^{-5} torr, contenant le creuset bascula

— l'enceinte contient également un four à résis de graphite permettant de chauffer un moul qu'à 1 000°C, préalablement à la coulée.



ure 1. — Installation de fusion, par bombardement électronique, d'alliages de titane.

Le faisceau électronique de puissance permet de ıdre le bain de titane contenu dans le creuset. Une ɜctrode de l'alliage à fondre, de ∅ 100 mm et de mètre de longueur, est amenée par descente pneuıtique au-dessus du bain ; l'électrode est ainsi ıppée par le faisceau de puissance et fond en aliɜntant le bain liquide.

Avec l'installation actuelle, on peut fondre dans creuset 6 à 8 kg de titane en 15 à 20 mn. La coulée ut s'effectuer dès que le métal est entièrement ıdu et dégazé. Le dégazage est contrôlé visuelleɜnt et par le niveau de vide atteint. On peut couler à 6 kg de titane dans le moule placé en position chauffe sous le creuset, par rotation de celui-ci.

ɔmportement du moule graphite à la coulée.

De nombreuses expériences nous ont permis de rifier que la température du moule avant coulée ɜit très importante. En effet, des moules froids ntiennent une certaine quantité de vapeur d'eau et e grande quantité de gaz absorbés qui créent des ufflures à la coulée. Cette situation ne varie pas ɜqu'à 150°C. Entre 200 et 400°C, il est possible de gazer suffisamment le moule pour éviter les souffres à la coulée. Au-delà de 450°C, le titane liquide ɔuille le graphite et le carbone se dissout largement ns le métal de base.

PROPRIÈTES DES PIÈCES COULÉES

Nous avons pu couler des pièces de 20 à 1 800 g en titane pur et en alliage titane-vanadium-aluminium. Les *figures 2* et *3* donnent un aperçu des pièces réalisées. La surface des pièces paraît excellente et sans traces de réactions chimiques.

Analyse des pièces obtenues.

Deux qualités de titane ont été coulées :

— un titane commercialement pur ;

— un alliage Ti-V-Al.

Figure 2. — Exemples de pièces en alliage de titane réalisées par fonderie à modèles perdus (procédé Microfusion).

Figure 3. — Autres exemples obtenus par le même procédé.

Le *tableau I* donne les analyses moyennes trouvées.

Par rapport au métal de base que nous avons refondu, nous avons constaté :

— pour le titane non allié, une augmentation de 0,02 à 0,06 % de la teneur en carbone, qui est probablement due à l'influence de notre moule en graphite ;

— pour le titane allié, Ti-V-Al, une diminution de la teneur en aluminium qui provient de la vaporisation d'une partie de cet élément en cours de fusion ;

— une augmentation générale de la teneur en oxygène jusqu'à 0,2 %. Cet oxygène se répartit probablement en oxygène dissous et en inclusions d'oxyde.

TABLEAU I :

	V (%)	Al (%)	C (%)	H_2 (%)	O_2 (%)	N_2 (%)
Titane pur non allié			0,06	0,001	0,2	0,014
Alliage Ti-V-Al	4,2	2	0,05	0,001	0,2	0,017

TABLEAU II :

	Dureté HB	R (hbar)	$E_{0,2}$ (hbar)	A (5d) (%)
Titane non allié refondu et coulé	150-180	55-58	50-55	8-12
T 40 forgé	150	40-55	30	20-25

Propriétés mécaniques.

Le *tableau II* compare les propriétés mécaniques en traction de notre titane non allié et d'un titane T 40 forgé.

Mis à part un allongement plus faible, on constate que les pièces coulées ont des propriétés pratiquement identiques à celles du titane forgé.

Le *tableau III* compare notre alliage Ti-V-Al dans plusieurs états à l'alliage de forge T-A6V (Ti-6 Al-4 V) très utilisé en aéronautique.

Comme dans le cas du titane non allié, la comparaison entre le T-A6V forgé et l'alliage de titane à 4 % V et 2 % Al, permet de penser que les pièces coulées pourraient remplacer, dans les structures aéronautiques, les pièces usinées et même forgées.

Etat des couches superficielles des pièces.

Les pièces que nous avons obtenues ont une surface suffisamment saine pour éviter l'usinage. Seul un sablage apparaît nécessaire pour éliminer la peau de fonderie. Dans ces conditions, il reste, en surface, une zone plus chargée en carbone que le cœur des pièces. Cette zone cémentée de 0,1 mm environ, est difficile à caractériser et à analyser. La dureté Brinell prise en surface est plus élevée que la dureté à cœur des pièces (tabl. IV).

TABLEAU III :

	Dureté HB	R (hbar)	$E_{0,2}$ (hbar)	A (%)	K_{CV} (daJ)
Ti-4V-2 Al coulé et recuit 2 h à 700°C	280-300	70-80	65-75	10-12	5-7
Ti-4V-2 Al coulé et traité 1 h à 940°C trempé à l'air + 6 h à 540°C		85-92	81-87	4-5	
T-A6V forgé	350	90-110	80-85	6-10	

TABLEAU IV :

	Dureté HB à cœur	Dureté HB en surface
Titane non allié	150-180	170-200
Alliage Ti-4V-2 Al	285-300	300-315

Nous ne pensons pas que cette couche superficielle puisse être gênante pour des pièces aéronautiques statiques. Pour des pièces rotatives ou soumises à la fatigue, des essais devront être faits par les utilisateurs éventuels.

CONCLUSION

Nous avons mis au point une méthode de fusion, de moulage et de coulée permettant d'obtenir, par la méthode de la fonderie de précision à cire perdue, des pièces en titane ou alliage de titane dont les qualités sont suceptibles d'intéresser les constructeurs aéronautiques.

Le développement industriel de ce procédé est en cours.

Gaz de France vend :

2 SURPRESSEURS "RATEAU"

0,6 bar - débit variable de 15 000 à 30 000 m^3/h

Moteur asynchrone C.E.N. - 5 500 volts.

630 kW - complet en ordre de marche.

Année de construction : 1959.

Heures de marche des groupes surpresseurs : 1 600 h.

S'adresser à Gaz de France, service équipement,
20, rue Pétrelle, 75009 Paris
Tél. : 282-20-20, poste 4922.

Importante Société Neuilly-Levallois
recherche :

UN PRÉPARATEUR DE FABRICATION

pour activité de devis, traitement thermique.

La préférence sera donnée à un candidat manifestant des aptitudes commerciales.

Adresser lettre manuscrite et curriculum vitæ à :

Revue de Métallurgie
47, rue Boissière
75116 Paris

qui transmettra.

le rôle joué par la fonte à graphite sphéroïdal au cours de l'évolution des pièces de fonderie (1910-1970) vu au travers de la construction d'une pièce de voirie

J. Oger
Ingénieur en chef à la Société Pont-à-Mousson S.A.

Communication présentée à la Journée d'études sur la fonderie, organisée par la Société des Ingénieurs Civils de France, le 11 octobre 1972.

Inventée à la fin de la deuxième guerre simultanément par plusieurs chercheurs anglais et américains, la fonte ductile a connu au cours des 25 dernières années un essor considérable dans le monde.

En France, parmi d'autres entreprises industrielles, Pont-à-Mousson S.A. a réalisé un effort de développement qui a permis, non seulement de résister à l'arrivée de matériaux nouveaux et économiques sur le marché intérieur, mais également de reconquérir des positions sur des matériaux traditionnels.

Le cas des dispositifs de fermeture aura pour objet de montrer combien le développement et le passage d'un produit existant à un produit nouveau est difficile, combien il demande de patience et surtout, combien il demande d'allers et retours, d'hésitations, compte tenu des contraintes de fabrication et des contraintes économiques à un moment donné de la connaissance scientifique.

La création de nouveaux modèles a conduit à utiliser des moyens de production différents pour production de masse, seule façon pour élever le niveau de l'individu et obtenir parallèlement des gains de productivité suffisants pour assurer le plein emploi d'installations très onéreuses.

HISTORIQUE DE LA FABRICATION DES PIÈCES DE VOIRIE

Les premières pièces ont été réalisées à l'usine de Foug, un peu avant la première guerre mondiale. A cette époque, toutes les fabrications étaient faites à la main ; les manutentions étaient réalisées par palan à chaîne ; de nombreux appareils de fusion étaient allumés chaque jour. L'évolution de cette fonderie a commencé après la deuxième guerre, à

partir de 1945 : création de pistes de circulation ; en 1954, l'étude d'une fonderie semi-mécanisée a été commencée ; en 1956, un ensemble comprenant trois chaînes de moulage et quatre chantiers de secoueurs mécanisés a démarré ; parallèlement, un nouveau cubilot à vent chaud a été utilisé et les 24 cubilots existants ont été détruits.

La fonte ductile a fait ses débuts à l'usine de Foug en fonderie aux environs de 1951. Il s'agissait de quelques essais pour réaliser des raccords pour pétroliers.

La fabrication se faisait dans un ancien cubilot transformé avec revêtement basique pour obtenir une fonte ayant un soufre aussi faible que possible. Nous visions alors 15/1 000. Les résultats allaient malheureusement de 12 à 40/1 000.

Il n'y avait pas de désulfuration et le traitement se faisait avec les premiers alliages de Ni et Mg, qui servaient à la désulfuration et en même temps à l'inoculation. Le magnésium résiduel était très variable. Nous ne connaissions pas alors, au moment du traitement en poche, la teneur en soufre à la sortie du cubilot. La fonte avait de nombreuses crasses. Toute la fabrication était recuite à 980°C pour dissolution de la cémentite et refroidissement contrôlé pour ferritisation. Les pièces se déformaient. C'était les premiers pas, ils n'étaient pas toujours très assurés.

Pour réduire les frais d'inoculants, en travaillant avec du magnésium pur, Pont-à-Mousson a mis au point un traitement de la fonte sous pression. La poche de fonte était placée sous une cloche. Une pression de 30 kg/cm^2 était obtenue par un compresseur et, sous cette pression, on introduisait la quantité pesée de magnésium pur par l'intermédiaire d'un plongeur qui assurait l'homogénéisation de l'ensemble, y compris des crasses qui restaient en suspension dans le métal. Nous avions gagné en supprimant le nickel, mais les pièces étaient encore recuites et il y avait toujours des crasses.

La phase importante de mise au point de la fonte GS se situe en 1964-1966 où, par des traitements d'inoculation, les premières pièces non recuites ont été fabriquées.

Les pièces de voirie, jusqu'en 1966, étaient toujours réalisées à l'usine de Foug sur chantier de moulage basse pression. On utilisait un cubilot à vent chaud, une désulfuration par poche rotative, un réchauffage au four électrique et un traitement au magnésium pur sous pression, avec inoculation à la coulée. La mise au point à partir d'un engin de deuxième fusion était à ce moment déjà très avancée. Les pièces sortaient à raison de 50 à 80 % sans traitement thermique.

Il restait le recuit de certaines pièces, les crasses et surtout les problèmes de forçage et de retassures *dans les* pièces.

A cette époque, la Société de Pont-à-Mousson était parfaitement fixée sur l'avenir de la fonte GS dans les fabrications pour l'hydraulique.

A partir de 1966, l'étude d'une nouvelle série de pièces de voirie avait commencé et, parallèlement, la décision avait été prise de faire de la fonte GS sans recuit en partant directement de métaux purs sortant de hauts fourneaux. De plus, le début du moulage à haute pression devait nous permettre de résoudre les deux problèmes importants non résolus : retassure de la fonte GS et forçage.

Au début de 1969, la première chaine haute pression spécialisée pour pièces de voirie, démarrait à l'usine de Pont-à-Mousson. C'est un ensemble d'une capacité horaire théorique de 180 moules, dimensions 1 m × 1 m, hauteur 2 × 0,200 permettant des précisions dimensionnelles qui, pour des pièces de voirie, se traduisent par une réduction de finissage de l'ordre de 50 à 90 %.

Le minerai hématite provient du Brésil. La fonte sortant du haut fourneau est systématiquement désulfurée par poche de 20 t ; l'ensemble de l'usine travaille entièrement en fonte GS à partir de la première fusion. Cette fonte est stockée dans des mélangeurs de 200 t, qui alimentent la fonderie par poches de 4 t. La fonte est réchauffée au four électrique, traitée au magnésium pur, enrobée en cloche à l'air libre (procédé breveté PAM-MAP), décrassée et transportée aux points de coulée : coulée par poche à quenouille avec inoculation à chaque transvasement.

Toute la fonte sort brute de coulée, avec des allongements allant de 7 à 12 % et des résistances de 50 à 60 kg/cm^2.

Pour suivre ces fabrications, on a mis au point des méthodes de réception qui assurent au client les caractéristiques mécaniques des pièces.

Dire aujourd'hui que l'ensemble des problèmes posés sur le plan métallurgique soit réglé serait faux. Pour obtenir une fonte pure, il faut des minerais constants, cela n'est pas toujours vrai. Leur prix varie avec les conditions de réception. Il faut fixer des fourchettes d'analyse compatibles avec les fabrications à assurer, mais sans prendre trop de marge, car le prix de revient s'en ressent. Les installations hautement mécanisées sont très intéressantes, mais il reste à faire de gros progrès. La fabrication du matériel de fonderie n'a jamais intéressé les Français, c'est donc vers l'Allemagne ou les U.S.A. qu'il faut se tourner, avec les difficultés que cela représente pour les pièces de rechange.

Dès 1970, le nombre de commandes nous a assuré une marche à 2 postes 1/2. Aussi en 1971, la décision était-elle prise de commander une deuxième chaine haute pression. Celle-ci doit démarrer en septembre 1972. Ces caractéristiques seront de 240 moules théoriques à l'heure, même dimension que la première chaine, mais avec un automatisme plus poussé : il n'y

TABLEAU I : Evolution d'un regard de chaussée carré de 850 mm.

	Poids des pièces		Prix de vente en francs constants avec point de départ 1 000 pour le premier modèle			
			Fabrication main	Machine basse pression	Machine haute pression	Ventes par an
1910 (A)	25 t	kg				
	fonte Ft 14	115	400			
	fonte Ft 14	210	600			
		325	1000			15 000
1940 (B)	25 t	kg				
	fonte Ft 18	86	355	270		
	fonte Ft 18	114	405	375		
		200	760	645		25 000
1957 (C)	25 t	kg				
	FGS 42-5	36		190		
	fonte Ft 18	93		350		
		129		540		50 000
1968 (D)	30 t	kg				
	FGS 50-7	30		162		
	FGS 50-7	38			180	
		68			342	80 000
1969 (E)	30 t	kg				
	FGS 50-7	27			140	
	FGS 50-7	38			180	
		65			320	150 000

aura aucune intervention manuelle depuis la fabrication des moules jusqu'à l'arrivée des pièces sur parc.

L'aspect humain se présente de la façon suivante : les spécialistes de fonderie conservent un rôle important dans la conception des outillages et dans les réglages qualitatifs des métaux et des sables. Le fonctionnement des installations nécessite de plus en plus de spécialistes mécaniciens et électriciens.

L'utilisation de calculateur ayant été introduit pour la régulation de cette nouvelle unité, nous aurons automatiquement une analyse détaillée et instantanée sur la marche du chantier.

C'est véritablement une élévation importante de l'ensemble du personnel, qui conduit à une formation adaptée par recyclage continu (réalisé en partie par nos fournisseurs).

ÉVOLUTION D'UN ENSEMBLE DE VOIRIE DE 1910 A 1969

Nous avons pris l'exemple d'un cadre carré de 850 mm avec tampon rond. Il s'agit d'une pièce de grande vente qui assure la fermeture de chambre utilisée dans les réseaux d'assainissement.

Sur le *tableau I* on peut remarquer que :

— la charge d'essais, qui était de 25 t, est actuellement de 30 t ; une normalisation européenne en cours d'étude la portera à 40 t ;

— le poids cadre + tampon passe de 325 kg à 65 kg ;

— le prix de vente, avec base 1 000 en 1910, passe à 320 en 1969. Il s'agit naturellement d'une étude en prix « matière et main-d'œuvre » de 1971 ;

— le nombre d'ensembles est multiplié par 10 : 15 000 en 1910, 150 000 en 1969 ;

— les frais de fabrication usine de l'ensemble cadre + tampon ont été divisés par 4,6 ; par contre, les frais généraux n'ont été divisés que par 1,6 (cela entre 1910 et 1969).

Il nous semblait alors que le maximum avait été fait pour ce produit. Or, 1972 verra encore une évolution importante soit pour le prix de revient, soit pour l'amélioration du produit, grâce :

— à la 2e chaîne, à cadence améliorée,

— au moulage simultané : un cadre et un tampon dans le même moule,

— à l'utilisation d'un jonc plastique, qui évitera tout contact métal-métal, générateur de bruit,

— à la possibilité de rehausser le regard dans le cas de réfection de routes.

Nous prévoyons pour ces raisons une augmentation de notre chiffre de vente, qui doit encore doubler : 300 000 ensembles pour 1972.

Nous avons actuellement à l'étude une deuxième génération de produits, qui suivra la norme européenne en préparation.

●

En conclusion, la naissance de la fonte ductile, sa maîtrise de la part des fabricants ont conduit en partie à une évolution importante des techniques de fonderie, ce qui a contribué à l'élévation du niveau de la main-d'œuvre.

Cette évolution ne fait que commencer. Il faut rester attentif, les techniques, les produits et les matériaux évoluant de plus en plus rapidement.

COLLOQUE INTERNATIONAL
SUR L'ENERGIE NUCLEAIRE ET L'ENVIRONNEMENT
(Liège, 22-25 janvier 1973)

Organisé par l'Association des Ingénieurs Electriciens sortis de l'Institut Electrotechnique Montefiore (A.I.M.), ce colloque aura pour thème :

L'énergie nucléaire.

Les sujets abordés à cette occasion sont les suivants :

— Rôle économique et social de l'énergie nucléaire.

— Risques industriels : évaluation et conséquences.

— Problèmes de la pollution radioactive.

— Méthodes de limitation et de contrôle de la pollution radioactive.

— Effets thermiques.

— Perspectives d'avenir et conclusions générales.

Les rapports présentés lors de ce Colloque seront envoyés aux participants avant celui-ci ; les discussions de séances feront l'objet d'une publication postérieure.

Les langues officielles sont le français, l'anglais, l'allemand et le néerlandais avec traduction simultanée.

Renseignements complémentaires auprès de :

Secrétariat de l'A.I.M.
31, rue Saint-Gilles
B-4000 Liège
Belgique.

●

JOURNEE D'ETUDE SUR LE FORGEAGE ET LE FILAGE
Progrès récents. Travaux en grande série
(Paris, 30 janvier 1973)

Cette Journée est organisée par la Société des Ingénieurs Civils de France et se déroulera 19, rue Blanche, Paris-9e, de 9 heures à 18 heures.

Au programme :

— Plasticité des métaux, par M. T. Vinh (Docteur ès-Sciences, Professeur à l'Institut Supérieur des Matériaux et de la Construction Mécanique).

— Machines de frappe à froid, par M. Sabouraud (Société National-Kayser).

— Fluotournage, par M. Huberdeau (Ateliers de Tarbes).

— Forgeage à la presse, par M. Schiffer (Société Eumuco).

— Pignons coniques à denture brute de forge, par M. Trannoy (Ateliers Chrysler de Vieux-Condé).

— Forgeage à haute énergie, par le Dr. Jones (S.K.F., Hollande).

— Filage des métaux ferreux, par M. Thannberger (Société CEFILAC).

— Filage des métaux légers, par M. Schlecht (Société Péchiney).

Les exposés seront suivis par la projection de films.

Une collation sera servie sur place à tous les participants à la journée d'études.

Conditions de participation :

Membres des Ingénieurs Civils de France	80 F
Non-membres	100 F
(Membres ayant cessé toute activité profes.) ..	40 F

Inscriptions **avant le 25 janvier** auprès de :

Société des Ingénieurs Civils de France
19, rue Blanche
75009 Paris
Tél. 874-66-36.

●

SEMINAIRE SUR LE CALCUL
DES PROCEDES DE MISE EN FORME DES METAUX
Applications de la théorie de la plasticité
(Fontainebleau, 26-30 mars 1973)

Organisé par l'équipe « Mise en forme » du groupe de recherche en matériaux, commun entre l'Ecole des Mines de

Paris et l'E.N.S.T.A., ce séminaire se propose d'apporter aux ingénieurs des industries de mise en forme des métaux une connaissance de la théorie de la plasticité suffisante pour leur permettre :

— de l'appliquer au calcul de leur procédé,

— de lire les revues, notamment étrangères, sur ces sujets.

Il s'adresse aux ingénieurs d'atelier, bureaux d'étude et recherche concernés par la mise en forme par déformation plastique.

Il se présente sous la forme d'un séminaire bloqué de cinq jours, dont chaque journée s'articule autour d'un thème. Les exposés seront suivis de séances d'exercices en petites classes, destinés à permettre l'assimilation profonde des notions présentées.

Le montant de l'inscription, documents et repas de midi compris, s'élève à 1 000 F.

Pour tout renseignement et inscription, écrire à :

M. Pierre Baqué
Groupe Commun « Matériaux »
MINES-ENSTA
32, boulevard Victor
75015 Paris
Tél. 828-70-90, poste 65-76.

●

COLLOQUE SUR LES APPLICATIONS DE L'ELECTROTHERMIE EN FONDERIE

(Versailles, 5-6 avril 1973)

Organisé par le Comité Français d'Electrothermie, ce colloque aura lieu au Palais des Congrès de Versailles.

L'après-midi du 6 avril sera consacré à la visite de fonderies faisant appel à l'électrothermie.

Les communications seront classées sous les rubriques suivantes :

— Fusion.

— Maintien en température.

— Traitements thermiques.

— Techniques et problèmes annexes.

Les textes des communications seront adressés aux participants quelques semaines avant le colloque, qui sera ainsi réservé uniquement aux discussions.

Renseignements complémentaires auprès du :

Comité Français d'Electrothermie
25, rue de la Pépinière
75008 Paris
Tél. 522-82-42.

●

ECOLE INTERNATIONALE D'ETE SUR LES JOINTS DE GRAINS

(Montréal (Canada), 2-6 juillet)

Cette école se tiendra à l'Ecole Polytechnique de Montréal.

Les séances du matin seront consacrées à des exposés de synthèse qui résumeront l'état actuel du sujet et qui seront présentés par deux spécialistes internationalement reconnus.

Les sujets traités seront :

— Structure des joints.

— Etudes expérimentales des joints.

— Interactions joints-défauts (lacunes, dislocations). Interactions joints-solutés (ségrégation).

— Influence des joints sur les propriétés mécaniques.

— Joints de grains et propriétés connexes (ex. recristallisation, germination et croissance des phases, frottement intérieur, résistivité, etc.).

Les séances de l'après-midi (ou du soir) seront destinées à la présentation et à la discussion de communications en relation avec le sujet du matin.

Les personnes désireuses de présenter une communication sont invitées à soumettre, **avant le 30 mars 1973**, un résumé de celle-ci au professeur J.P. Bailon, Département de Génie métallurgique, Ecole Polytechnique, B.P. 501 Snowdon, Montréal (248), Canada.

Ce résumé doit comprendre le titre de la communication, le nom du (des) auteur(s) et la session où la communication devrait être inscrite : la longueur du résumé ne doit pas excéder deux pages dactylographiées. Les auteurs seront avisés avant le 30 avril 1973 du choix final effectué par les divers comités de lecture.

Informations complémentaires auprès du professeur J.P. Bailon.

●

INTERLITMASH 73

(Moscou, 7-21 septembre 1973)

Une exposition internationale « Interlitmash 73 » (technologie, matériaux et équipements pour la fonderie), organisée par la Chambre de Commerce et d'Industrie de l'Union Soviétique, conjointement avec le Comité d'Organisation du 40e Congrès International de Fonderie et le Ministère de la Construction de machines-outils et d'outillage en U.R.S.S., aura lieu du 7 au 21 septembre 1973 à Moscou (terrain d'exposition des réalisations de l'économie nationale).

Cette manifestation concerne :

— l'équipement technologique pour la fonderie,

— l'organisation et la sécurité du travail,

— l'appareillage, les moyens de contrôle, les systèmes automatiques de direction des processus de production,

— les matériaux de moulage et de charges,

— la littérature technique et scientifique se rapportant au sujet.

Tous renseignements et inscriptions peuvent être obtenus à :

Société E.A.G.
18, rue Louis-Blanc
92 Levallois-Perret
Tél. : 270-27-20.

●

REUNION ANNUELLE DE LA DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ZERSTÖRUNGSFREIE PRÜFVERFAHREN e.V.

(Freilassing/Salzbourg, 18-19 octobre 1973)

A l'occasion de son Assemblée annuelle, la Société allemande pour l'étude des procédés d'essais non destructifs organise cette réunion, ayant pour thème principal :

Mesure des propriétés physiques et mécaniques au moyen des essais non destructifs

Des communications hors du thème principal, mais restant dans le domaine des essais non destructifs, seront acceptées.

Les auteurs désirant présenter une communication sont priés d'envoyer **avant le 30 avril 1973** à l'adresse ci-après :

— leurs nom et adresse,

— le titre de la communication,

— un court résumé (maximum 1 page dactylographiée) pour examen,

— un sommaire (6 lignes dactylographiées) pour l'annonce dans le programme.

La décision de la Commission du programme leur sera communiquée avant le 1er juin 1973.

La durée moyenne de la présentation sera de 20 minutes.

Renseignements détaillés et inscription :

Deutsche Gesellschaft für Zerstörungsfreie Prüfverfahren e.V.
1 Berlin 45
Unter den Eichen 87.

bibliographie

Editions Techniques des Industries de la Fonderie, 12, avenue Raphaël. Paris-16e:

Nomenclature des alliages légers de fonderie, 2e édition succédant à celle de 1968. — Un vol. 21 × 29,7 de 74 pages. Prix : 23,65 F (franco TTC).

On retrouvera dans cette Nomenclature les deux grandes divisions de la première brochure : d'une part, symbolisation et définition des alliages normalisés, près de 400 au total, avec leur composition chimique et leurs principales caractéristiques ; d'autre part, liste des principales désignations commerciales françaises et étrangères, ainsi que des firmes productrices correspondantes.

Guide pratique du tracé des pièces en acier moulé, 4e édition. — Un vol. broché 21 × 27 de 88 pages avec 110 figures. Prix : 31,70 F (Franco TTC).

Cette nouvelle édition entièrement révisée, illustrée d'exemples nouveaux et de nombreuses photographies de pièces a été particulièrement rédigée à l'intention des bureaux d'études. Ceux-ci y trouveront les règles essentielles à suivre pour l'établissement de leurs dessins, de manière à obtenir économiquement des pièces saines.

Au sommaire :

Terminologie - Règles de tracé indépendantes des sens de moulage et de coulée - Justification des modifications susceptibles d'être demandées par le fondeur - Précautions relatives à l'exactitude des dimensions - Propriétés des aciers moulés - Conclusion.

Recueil des méthodes de contrôle courant des sables de fonderie. — Un vol. relié 21 × 29,7 de 80 pages. Prix : 60,20 F (TTC, franco recommandé).

Seize méthodes ont été examinées. Des photographies et des schémas montrent les principaux matériels utilisés pour leur mise en œuvre et précisent certaines modalités d'installation ou d'exploitation des résultats.

Le recueil groupe seize fascicules réunis par un système de brochage permettant d'isoler chaque méthode ou annexe.

Répertoire des fournisseurs de matériels de fonderie. — Un vol. broché 21 × 29,7 de 96 pages. Prix : 27,15 F (franco TTC).

Ce recueil comprend la liste alphabétique des différents matériels (y compris les machines à couler sous pression et les équipements de laboratoire) avec, pour chaque catégorie, la liste correspondante des fournisseurs. Cette énumération est suivie d'un répertoire alphabétique des firmes citées, faisant mention de leur adresse et éventuellement de celle de leur représentant en France, s'il s'agit d'un matériel fabriqué à l'étranger.

●

FER (F.). **Thermodynamique macroscopique, tomes 1 et 2.** (Volumes 4 et 5 de la Collection « Cours et Documents de Chimie). — Deux vol. reliés 15,5 × 23,5 de respectivement 288 et 234 pages, édité en 1971 par Gordon et Breach, Paris, Londres, New York. Prix non indiqué.

L'ouvrage de M. Fer, professeur à l'Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris est préfacé par M. Louis de Broglie, Secrétaire Perpétuel de l'Académie des Sciences, qui en souligne la rigueur des raisonnements et la variété des problèmes étudiés.

Le premier tome « Fondements de la thermodynamique des systèmes fermés. Applications » comprend les grands

chapitres suivants : Notions de base - Principe de la conservation de l'énergie (Premier principe de la thermodynamique pour les systèmes fermés - Réversibilité et irréversibilité - Second principe ; transformations réversibles - Second principe ; transformations irréversibles - Principe de Nernst - Variables et fonctions thermodynamiques usuelles - Stabilité de l'équilibre - Etude des gaz simples (phase chimiquement inerte) - Définition des échelles thermodynamiques de températures - Théorèmes généraux de la thermodynamique chimique - Exemples d'applications de la thermodynamique chimique.

Le tome II « Systèmes ouverts » comprend les chapitres suivants : Introduction - Mécanique et thermodynamique du milieu matériel continu simple (notamment fluide) - Mécanique du milieu continu complexe et réactif (notamment fluide) - Conservation de l'énergie et quantité de chaleur - Génération d'entropie - Les équations énergétiques - Equations d'interface - Les équations fondamentales de l'électrothermodynamique - Principales conséquences physiques des équations de l'électrothermodynamique.

●

Publications de l'AFNOR à Paris-La Défense. **Catalogue des Normes Françaises NF** (28e édition, 1972). — Un vol. cartonné 21 × 29 de 570 pages. Prix : 30 F.

Cette édition se présente comme les éditions précédentes avec en encart le tarif des normes et comprend, outre différents renseignements sur le moyen d'utiliser le catalogue, de commander les normes et de vérifier sa collection de normes, le répertoire des normes classées, des recommandations ISO et CEI, des Euronormes, l'index alphabétique des normes, divers renseignements généraux relatifs à la normalisation.

●

Méthodes et techniques nouvelles d'observation en métallurgie physique. — Un vol. relié sous jaquette rhodoïd, 180 × 265, 546 p., 457 illustrations, édité par la Société Française de Microscopie Electronique, 24, rue Lhomond, 75231 Paris Cedex 05, C.C.P. Paris 10-797-33. Prix : France 190 F ttc franco. Etranger 177,25 F franco.

A la suite de l'Ecole d'été qui s'est tenue du 8 au 19 septembre 1969 à Perros-Guirec, la Société Française de Microscopie Electronique vient de publier cet ouvrage. Il peut être divisé en deux parties. Dans la première, vingt et un chapitres concernent la microscopie électronique. Le traitement des dislocations et des défauts plans a été détaillé ainsi que les diagrammes de diffraction caractéristiques correspondant à ce dernier type de défauts. Les contrastes caractéristiques des alliages ordonnés, des petits défauts, des précipités et des inclusions sont également étudiés en détail.

Des chapitres sont réservés à l'étude des pertes d'énergie, plus particulièrement au rôle des phonons dans le phénomène de « l'absorption » (diffusion), aux problèmes posés par l'éclairement de l'objet, à la microscopie à haute tension et à l'optique géométrique et ondulatoire en microscopie de Lorentz.

Les quatre derniers chapitres de cette première partie sont réservés à l'exposé de méthodes complémentaires de la microscopie électronique classique utilisées en métallurgie, la microscopie à balayage et la miscroscopie à l'aide de la microsonde de Castaing, l'analyse par émission ionique secondaire, la méthode de Lang et la microscopie ionique par émission de champ.

Dans la deuxième partie, une vingtaine d'exercices de dépouillement de diagrammes de diffraction (l'utilisation de la projection stéréographique est particulièrement développée) et d'analyses de contrastes sont proposés avec leurs solutions.

●

POKORNY (Jean), POKORNY-BRAULT (Annick). **Album de métallographie.** Cahier du CESSID nº XI (décembre 1971). — Un vol. relié pleine toile de 240 pages au format 21 × 29,7 cm, illustré de 200 planches de photographies. Prix franco : France : 150 F. Etranger : 153 F. En vente au Centre d'Etudes Supérieures de la Sidérurgie, 17, av. Robert-Schuman. 57006 Metz CEDEX.

Cet album, préfacé par le Professeur Paul Bastien, membre de l'Institut, constitue un recueil de structures de aciers industriels, depuis l'état lingot jusqu'à l'état fini traité, chaque cliché étant décrit et commenté.

Il est à la fois une réédition et un complément de l'ouvrage paru en 1955 et rapidement épuisé. Cet ouvrage s'adresse spécialement aux ingénieurs et techniciens métallurgistes, producteurs et utilisateurs d'acier, dans leurs recherches de qualité, ainsi qu'aux enseignants des Instituts techniques.

Extrait de la table des matières : Aciers au carbone - Aciers alliés et aciers spéciaux - Grain de l'acier - Notions sur les fontes - Structure des lingots - Corroyage - Ecrouissage et recristallisation - Inclusions - Courbes de dilatométrie - Spectres de radiocristallographie - Diagrammes fer-carbone - Courbes de transformation.

Indépendamment de cet album, plusieurs séries de diapositives en couleurs portant sur les structures d'acier seront disponibles ultérieurement.

●

R.H. HUMMEL. **Optische Eigenschaften von Metallen und Legierungen** (Propriétés optiques des métaux et alliages). Avec une introduction à la théorie électronique des métaux. — Un vol. relié toile 15,5 × 24 de 222 pages 154 figures édité en 1971 sous le nº 22 dans la collection « Science des métaux pure et appliquée » par Springer Verlag Berlin, Heidelberg-New York. Prix : DM 68,- $ 19,70.

L'ouvrage comprend 8 grands chapitres : Introduction - Définition des constantes optiques - Théorie dans le milieu continu des constantes optiques - Etude atomistique des constantes optiques - Etude par la mécanique des quanta - Effet anormal de peau - Détermination expérimentale des constantes optiques des métaux - Problèmes particuliers.

Des annexes portent sur les phénomènes périodiques, certaines formules mathématiques et quelques tableaux de données.

●

H. SCHMALZRIED. **Festkörperreaktionen, Chemie des festen Zustands** (Réactions entre corps solides, chimie de l'état solide). — Un vol. relié toile 17,5 × 24,5 de XI-198 pages avec 74 figures et 6 tableaux, édité en 1971 par Verlag Chemie à Weinheim, Allemagne Fédérale. Prix : DM 44.

Les réactions en milieu solide sont variées et complexes et le présent ouvrage constitue le fil conducteur pour leur étude et tient compte des références bibliographiques les plus récentes en la matière. Deux autres tomes devant paraitre en 1973 sont annoncés et traiteront de la structure et des liaisons dans le corps solide et de la thermodynamique du corps solide.

Courte introduction sur les liaisons, la texture et la structure du solide - Courte introduction sur les réactions dans le corps solide - Défauts cristallins - Thermodynamique des défauts ponctuels - Diffusion chimique à l'état solide - Réactions à l'état solide - Cristaux ioniques - Métaux - Réactions entre solide et phases liquides ou gazeuses avec produit de réaction solide - Réactions techniquement les plus importantes à l'état solide.

●

AUWÄRTER (M.). **Ergebnisse der Hochvakuumtechnik und der Physik dünner Schichten, Band II** (Résultats fournis par la technique du vide poussé et la physique des couches minces. Tome II). — Un vol. relié 17 × 24,5 de XVI-470 pages avec 302 figures, 34 tableaux et 834 références bibliographique, édité en 1971 par la Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH à Stuttgart. Prix : DM 142.

L'ouvrage contient 27 mémoires émanant de divers auteurs, réunis par M. Auwärter. Ces mémoires traitent des questions les plus diverses sur la technique du vide poussé en installations et les applications ainsi que sur les couches minces, leur préparation et leurs propriétés physiques et chimiques.

●

Annuaire 1972 du Syndicat Général des Fondeurs de France et Industries connexes.

Cet ouvrage, récemment paru, est en vente au Groupement d'Achats des Fondeurs de France, 2, rue de Bassano, 75783 Paris CEDEX 16, au prix de 85,50 F pris au Syndicat ou 94,50 F par expédition, ttc.

●

Publications de « The National Bureau of Standards (NBS) (U.S.A.).

Special Publication n° 343. **Precision measurement and fundamental constants** (Mesure de précision et constantes fondamentales). — Un vol. relié toile 20,5 × 26,5 de 530 pages avec de nombreux tableaux et figures publié en 1971. Prix : $ 6.00.

Ce volume contient les communications faites lors de la conférence internationale qui a eu lieu au N.B.S. à Gartherburgh Maryland du 3 au 7 août 1970.

Ces communications portent sur les questions suivantes :

Normes de fréquence et de temps - Normes de longueur et vitesse de la lumière - Constante de Rydberg - Normes d'électricité - Constante de Faraday et masses atomiques - Moment magnétique du proton - Expériences sur la relativité généralisée - Effet Josephson - Rayons X - Structure fine et hyperfine dans les atomes simples - Anomalies du facteur g de Lepton - Constantes de gravitation - Discussion générale : faut-il abolir les ajustements par la méthode des moindres carrés pour les constantes fondamentales ?

●

Cahier des charges des lubrifiants.

Cet ouvrage, élaboré par la commission « Lubrifiants » de l'Association Technique de la Sidérurgie avec la participation des fournisseurs de lubrifiants et leurs organismes professionnels, est essentiellement constitué de fiches techniques qui seront mises à jour périodiquement.

Sa parution est prévue pour le début de 1973. Il est édité par Technip, 27, rue Ginoux, Paris-15e.

Table des matières :

— Principes de la codification des lubrifiants.

— Recommandations diverses.

— Bases de la classification (classification des lubrifiants nécessaires en sidérurgie, codification numérique de tous ces produits, fiches techniques de chacun des lubrifiants).

— Principes de la codification des lubrifiants.

— Recommandations diverses.

— Annexes.

Prix de souscription : 119 F.

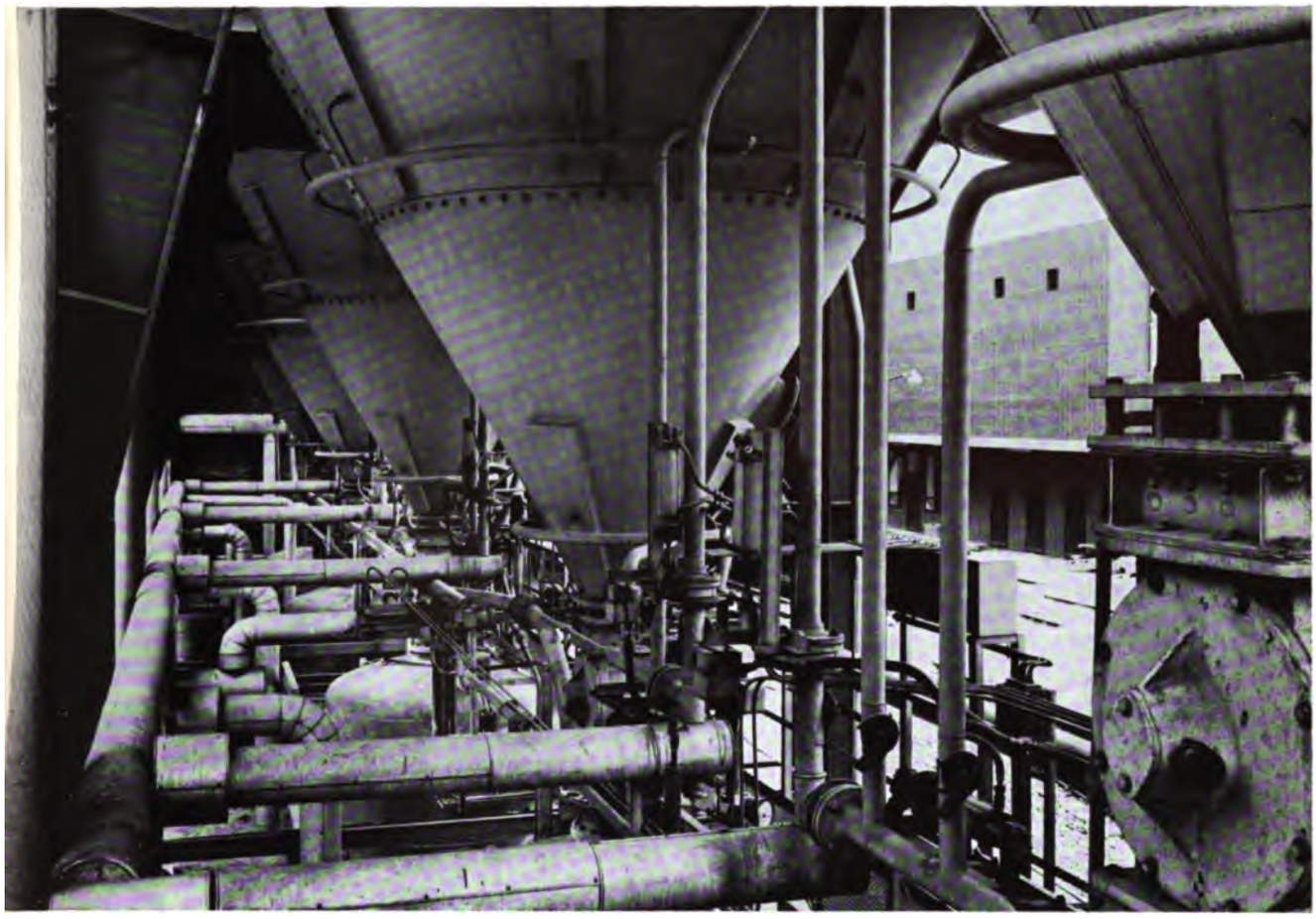
Prix de vente après parution : 140 F.

TABLE DES ANNONCEURS

	Dans ce N° : Pages
A	
ALCOA	
ALFA LAVAL	
AMSLER	
A.N.F.	
AUBERT & DUVAL	VI
B	
BABCOCK ATLANTIQUE	
BALZERS	
BERLIET	
BROCHOT	
C	
CARL ZEISS	XI
CEC	
CEM	
CETAP	
CHATILLON COMMENTRY BIACHE	
CHAUVIN ARNOUX	
CHIERS (Hauts Fourneaux de la)	
COCKERILL OUGREE	
COLLY	
COMPAGNIE EUROPEENNE DE TRAITEMENT DES EAUX	
COMPAGNIE FRANÇAISE DES CONVOYEURS	
COMPAGNIE GENERALE DE PHYSIQUE	
COMPAGNIE TECHNIQUE DES PETROLES	
COMPTOIR DES PRODUITS MAGNESIENS	
CONILLEAU (MANUCAC)	
CREUSOT-LOIRE METALLURGIE	
D	
DANGO & DIEMENTHAL	
DAVY ASHMORE	
DELATTRE LEVIVIER	
DEMAG	IX
DUJARDIN - MONTBARD - SOMENOR	
DYNATEC	
E	
E.D.F.	
ELECTRO NITE	
ELECTRO REFRACTAIRE	
ELIOTT AUTOMATION	
F	
FERRY CAPITAIN	
F.I.C.A.	
FIVES-LILLE-CAIL	
FONDERIES DE NOGENT	
FOURNIER MOUILLON	
FOURS AUBE	
FOURS ROUSSEAU	
FOXBORO	XVI
G	
GAZ DE FRANCE	
G.H.H. STERKRADE	
GLAENZER SPICER	
H	
HARTMANN & BRAUN	
HEURTEY	
HOESTEMBERGHE & KLUTSCH	
I	
INTERLABE	
INTERMED	X
INSTRON	
J	
JEOLCO	
JEUMONT SCHNEIDER	VII
JOHNS MANVILLE	XIII
K	
KODAK	
KONGSBERG FRANCE	
L	
LABO CAFFIN	
LA DOLOMIE FRANÇAISE	XII
LEGENISEL & BLANCHARD	
LEITZ FRANCE	
LES ENFANTS DE MERCIER	
LUMMUS	

	Dans ce N° : Pages
M	
MACHINOEXPORT	
MACHINOEXPORT	
MACHINOEXPORT	
M.A.I.R.	
MARREL FRERES	XIV
MINEMET	
MINGORI	
MORGANITE CERAMIC FIBRE	
MORGAN THERMIC	
MOURATILLE	
N	
NEU	
NEUVES MAISONS CHATILLON (ACIERIES)	
NEWALLS INSULATION	
NEYRPIC	
NOBEL HOESCHT	
O	
OMNIUM D'ASSAINISSEMENT	
ONIA GEGI	
OSI	
OZONAR	
P	
PECHINEY-UGINE-KUHLMANN	VIII
PHILIPS	
POLYSIUS	3e couv.
PONT-A-MOUSSON	V
PRAT DANIEL POELMAN	
PROST	
R	
RADEX	2e couv.
ROYALE ASTURIENNE	
S	
S.A.F.T.P.	
SAINT-GOBAIN ELECTRO-REFRACTAIRE	
SAMM	
SAULNES & UCKANGE	XII
SCHENCK	
SCHLOEMANN AG	
SCHMITZ	
SCOM	4e couv.
SECIM SPIDEM	
SECOSAR	
SEFRAM	VIII
SETREM	
SIEMENS	
SMAP	
SOCIETE FRANÇAISE DE MINERAIS ET METAUX	
SOCIETE GENERALE DES PRODUITS REFRACTAIRES	
SOCIETE METALLURGIQUE DE NORMANDIE	
SOCIETE NOUVELLE DES ACIERIES DE POMPEY	
SOFRANCE	
SPRUNCK	
T	
TECHNOM	
TESTWELL	
TRAYVOU	
TRINDEL	VI
TUBES DE CHEVILLON	
TUBES DE NORMANDIE	
TUBES DE LA PROVIDENCE	
U	
UGINE GUEUGNON	
UGINE INFRA	
UGIVIS	
UGINOX	
USINOR	
V	
VALLOUREC	
VEITSCHER MAGNESIT	XV
VON ROLL	X
W	
WENDEL SIDELOR	
WERNER PFLEIDERER	

S.I.L., 48, rue de Lancry, Paris (10e) Dépôt légal 4e trimestre n° 813 Le *Directeur de la Publication* : Max DUPONT



DEDITS DE CHAOX ET D'OXYGENE DOSÉS AO PLUS JUSTE

POLYSIUS étudie pour les aciéries, des distributeurs statiques de pulverulent procédé OLP et l'IRSID, ce qui permet, dans une large mesure, le contrôle des débits de chaux et d'oxygène pendant l'insufflation. Ainsi durant le processus d'affinage, on peut insuffler la quantité de chaux et d'oxygène nécessaire dosée au plus juste. Dans une de nos installations, la chaux pulvérulente est dosée dans une plage de 5 à 1500 kg/min. et l'oxygène, en tant que gaz porteur, de 40 à 260 Nm^3/min. Par ailleurs nous livrons des installations pour le transport pneumatique et le stockage de pulvérulents.

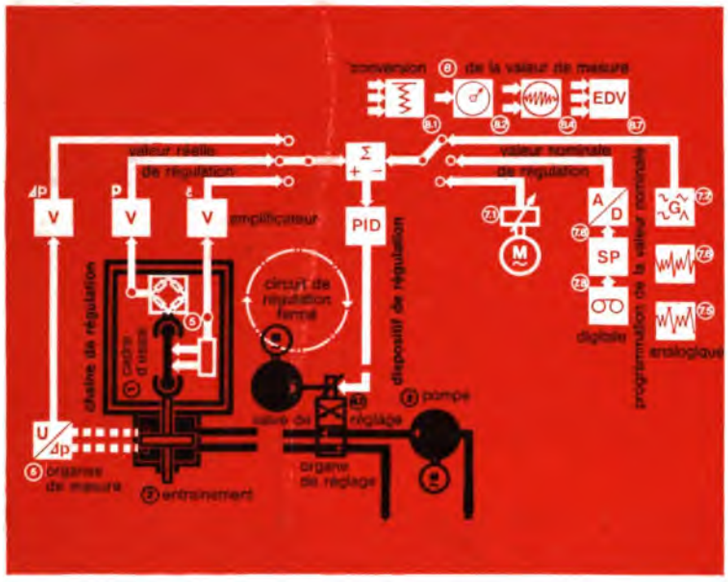
POLYSIUS

POLYSIUS S.A.
3-7 Avenue Paul Doumer
92 - Rueil-Malmaison
Tél. 977.05.03 Télex : 69.329 F
Neubeckum . Ascot . Madrid

527 F

SYSTEME HYDROTEST HUS

Un système moderne, composé de blocs fonctionnels, spécialement adapté aux essais statiques, quasi-statiques, fatigue (closed loop control system) avec possibilité de programmation analogique ou digitale.



- **double circuit hydraulique indépendant** séparant l'alimentation du vérin de celle de la servo-valve. avantages directs de ce système : plus grande sensibilité aux faibles charges, arrêt facile de la machine en cas de panne sur le réseau alimentation électrique.
- **travail à haute pression :** 320 bars - vérin de faible encombrement.
- **bâti avec table rainurée,** grande rigidité, donc moins de perte au niveau de l'éprouvette
- **extensomètrie :** 40 capteurs électroniques différents sont à votre disposition, tant pour la mesure sur éprouvettes que pour l'asservissement du circuit closed loop.

MOHR+FEDERHAFF+LOSENHAUSEN

Société commerciale d'outillage moderne
14-16, rue Clément-bayard
92-LEVALLOIS-PERRET
Téléphone 270.24.40